

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

Rec'd PCT/PTO 12 OCT 2004

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2003 年 10 月 16 日 (16.10.2003)

PCT

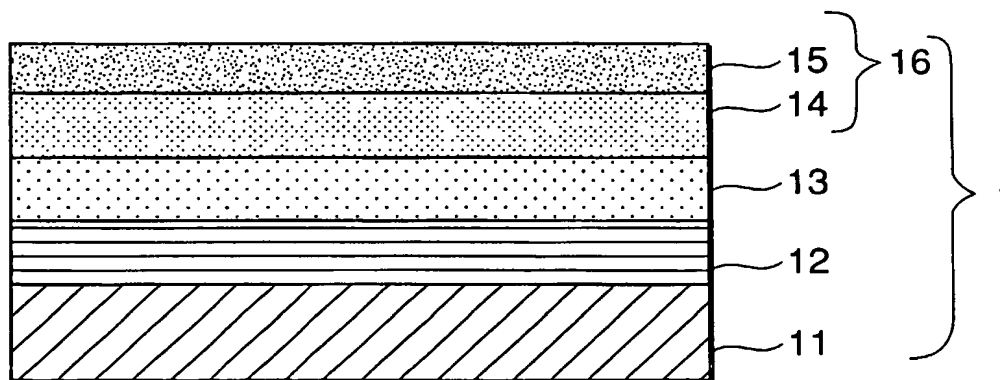
(10) 国際公開番号  
WO 03/085709 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 21/027, G03F 1/16 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): HOYA 株式会社 (HOYA CORPORATION) [JP/JP]; 〒161-8525 東京都 新宿区 中落合 2 丁目 7 番 5 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/04615
- (22) 国際出願日: 2003 年 4 月 11 日 (11.04.2003) (72) 発明者; および
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 石橋 信一 (ISHIBASHI, Shinichi) [JP/JP]; 〒161-8525 東京都 新宿区 中落合 2 丁目 7 番 5 号 HOYA 株式会社内 Tokyo (JP). 笑喜 勉 (SHOKI, Tsutomu) [JP/JP]; 〒161-8525 東京都 新宿区 中落合 2 丁目 7 番 5 号 HOYA 株式会社内 Tokyo (JP). 細谷 守男 (HOSOYA, Morio) [JP/JP]; 〒161-8525 東京都 新宿区 中落合 2 丁目 7 番 5 号 HOYA 株式会社内 Tokyo
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2002-108808 2002 年 4 月 11 日 (11.04.2002) JP  
特願2002-111598 2002 年 4 月 15 日 (15.04.2002) JP

[続葉有]

(54) Title: REFLECTION TYPE MASK BLANK AND REFLECTION TYPE MASK AND PRODUCTION METHODS FOR THEM

(54) 発明の名称: 反射型マスクブランク及び反射型マスク並びにそれらの製造方法



(57) Abstract: A reflection type mask blank comprising a substrate (11), and, sequentially formed thereon, a reflection layer (12) for reflecting an exposure light in a short-wave region including an extreme ultraviolet region and an absorber layer (16) for absorbing an exposure light. The absorber layer (16) has a structure of at least two layers consisting of as a lower layer an exposure light absorbing layer (14) composed of an absorber of an exposure light in a short-wave region including an extreme ultraviolet region, and as an upper layer a low-reflectance layer (15) composed of an absorber of an inspection light used for mask pattern inspection. The upper layer consists of a material containing tantalum (Ta), boron (B) and nitrogen (N), B content being 5 at%-30 at%, a composition ratio between Ta and N (Ta:N) being 8:1 to 2:7. Alternatively, the reflection type mask blank may comprise a substrate, and, sequentially formed thereon, a multi-layer reflection film and an absorber layer, wherein the absorber layer consists of a material containing tantalum (Ta), boron (B) and nitrogen (N), B content being 5 at%-25 at%, a composition ratio between Ta and N (Ta:N) being 8:1 to 2:7.

(57) 要約: 反射型マスクブランクは、基板 (11) を有し、その上に、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層 (12) 及び露光光を吸収する吸収体層 (16) が順に形成されている。吸収体層 (16) が、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光の吸収体で構成する露光光吸収層 (14) を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成する低反射率層 (15) を上層とする少なくとも二層の構造をもつ。上層は、タンタル (Ta)

[続葉有]



(JP). 塩田 勇樹 (SHIOTA, Yuki) [JP/JP]; 〒161-8525 東京都 新宿区 中落合 2 丁目 7 番 5 号 HOYA 株式会社内 Tokyo (JP). 暮石 光浩 (KUREISHI, Mitsuhiro) [JP/JP]; 〒161-8525 東京都 新宿区 中落合 2 丁目 7 番 5 号 HOYA 株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 後藤 洋介, 外 (GOTO, Yosuke et al.); 〒105-0003 東京都 港区 西新橋 1 丁目 4 番 10 号 第三森ビル Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, KR, SG, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

とホウ素 (B) と窒素 (N) を含む材料からなり、B の含有率が 5 at % ~ 30 at % であり、且つ、Ta と N の組成比 (Ta : N) が 8 : 1 ~ 2 : 7 の範囲である。あるいは、反射型マスクブランクは、基板を有し、その基板上に多層反射膜及び吸収体層が順に形成されているものであっても良い。この場合、吸収体層がタンタル (Ta) とホウ素 (B) と窒素 (N) を含む材料からなり、B の含有率が 5 at % ~ 25 at % であり、且つ、Ta と N の組成比 (Ta : N) が 8 : 1 ~ 2 : 7 の範囲である。

## 明 細 書

## 反射型マスクブランク及び反射型マスク並びにそれらの製造方法

## 技術分野

本発明は、極端紫外光などの短波長域の露光光を使用するリソグラフィ法において好ましく用いられる反射型マスク及びマスクブランク並びにそれらの製造方法に関するもので、詳しくはマスクパターンの検査を正確かつ迅速に行うことを可能とする反射型マスク等に関するものである。

## 背景技術

近年、半導体メモリーや超LSI（大規模集積回路）等において見られるように、半導体製品の高集積化に伴い、フォトリソグラフィ法の転写限界を上回る微細パターンが必要とされている。そこで、このような微細パターンの転写を可能とするため、より波長の短い極端紫外光（Extreme Ultra Violet、以下、EUV光と称す）などを用いたリソグラフィ法が提案されている。なお、ここで、EUV光とは、軟X線領域又は真空紫外線領域の波長帯の光を指し、具体的には波長が0.2～100nm程度の光のことである。

ところで、EUV光やX線などの短波長域での露光用マスクとして使用される反射型マスクが従来提案されている。この反射型マスクの基本構造は、たとえばSiや石英などの基板上に、EUV光やX線などを反射する反射層、その上にEUV光やX線などを吸収する吸収体パターンを有している。反射層としては少なくとも2種類の物質の薄膜が交互に積層された多層膜が一般的である。そして、マスクの垂直方向より数度（通常は2～5度）傾斜した方向からマスクに露光光が入射され、吸収体パターンのある部分では露光光は吸収され、それ以外の部分では露光光は反射層で反射されるため、吸収体パターンを反映した反射像が形成される。この反射像を適当な光学系を介してシリコンウエハ上に縮小投影することにより転写が行われる。

また、このような反射型マスクの基本構造に加え、上記反射層と吸収体との間

に中間層を設ける構成が、特開平 7-333829 号公報や特開平 8-213303 号公報等の開示されている。つまり、吸収体をパターン形成する際、特にエッチング時に下層の反射層がエッチング損傷を受けないように反射層を保護することを目的として中間層が設けられる。

ここで、EUV 光（例えば波長 13.4 nm 程度の軟 X 線領域にある EUV 光）を露光光とするリソグラフィに用いる反射型マスクの製造方法について図 1 を参照しながら説明する。図 1 は従来の反射型マスクの製造工程を順に示す概略断面図である。

石英などの基板 11 上に、順次、EUV 光の反射層（以下、EUV 反射層と称す）である積層膜 12、その上に吸収体パターン形成工程における EUV 反射層の保護を目的としたバッファ層（上述の中間層に対応）13、さらにその上に EUV 光を吸収する吸収体層（以下、EUV 吸収体層と称す）14 を成膜したマスクブランク 101 を作製する（図 1（a）参照）。

次に、EUV 光の吸収体である EUV 吸収体層 14 を加工して所定のパターンを有する EUV 吸収体パターンを形成する（図 1（b）参照）。

次いで、この EUV 吸収体パターンが設計通りに形成されているかどうかの検査を実施する。このパターン検査の結果、例えばここでは図 1（b）に示すように、パターン形成時におけるレジスト層への異物付着などに起因するピンホール欠陥（エッチング除去されるべきでない箇所の吸収体層が除去された欠陥であり、白欠陥ともいう）21 と、エッチング不足欠陥（エッチング不足により吸収体層が十分に除去されていない箇所をいい、黒欠陥ともいう）22 が発生した場合、ピンホール欠陥 21 については集束イオンビーム（Focused Ion Beam : FIB）アシストデポジション法により炭素膜 23 をピンホールに堆積させて修復する。またエッチング不足欠陥 22 については FIB 励起のガスアシストエッチングにより残留部分 22a を除去して修復することにより吸収体層 14 の除去部分 25 を得るが、このときの照射によるエネルギーによってバッファ層 13 表面にはダメージ部分 24（FIB により除去された部分 24a 及び FIB イオンが入り込んだ部分 24b）が存在する（図 1（c）参照）。

その後、この EUV 吸収体層 14 が除去された部分 25 に対応するバッファ層

1 3 を除去したパターン 2 6 を形成することにより E U V 光用の反射型マスクとなる（図 1（d）参照）。

この反射型マスクに E U V 光 3 1 で露光すると吸収体パターンのある部分では吸収され、それ以外の部分（吸収体層 1 4 およびバッファ層 1 3 を除去した部分）では露出した反射層 1 2 で E U V 光 3 1 が反射されることにより（図 1（e）参照）、E U V 光によるリソグラフィ用マスクとして使用することが出来る。

上述のマスク作製工程において、E U V 吸収体層 1 4 にパターンを形成した後、この E U V 吸収体パターンが設計通りに形成されているかどうかの検査を実施することは上述したとおりであるが、このマスクパターンの検査では、波長が例えば 2 5 7 n m 程度の光（一般に 1 9 0 ~ 2 6 0 n m の深紫外光）を使用した検査機が使用される。つまり、この 2 5 7 n m 程度の光をマスクに当てて、その反射像のパターンを検査している。そして、このマスクパターンの検査は、前述したように表面の E U V 吸収体層 1 4 のパターン形成工程（図 1（b）の工程）終了後に実施し、その検査結果に基づいて必要なパターンの修復を行っている。したがって、具体的には、上記検査に使用する光（以下、検査光と称す）をマスクに当てたとき、表面の吸収体がパターンニングにより除去されて露出したバッファ層 1 3 表面と、パターンが残っている吸収体表面との反射率の差によって検査が行われるので、検査光の波長に対するバッファ層表面と吸収体表面との反射率の差が小さいと検査時のコントラストが悪くなり、正確な検査が出来ないことになる。

ところで、従来の反射型マスクの場合、例えば表面の E U V 吸収体としてタンタルや窒化タンタル膜、バッファ層として S i O<sub>2</sub> 膜などで構成するのが代表的であるが、波長 2 5 7 n m などの検査光に対して吸収体表面の反射率とバッファ層表面の反射率との差が小さく、検査時のコントラストが十分得られないため、その結果マスク検査においてパターンの欠陥を十分判別できず、正確な欠陥検査を行えないという問題があった。

また、電子線を使用した電子顕微鏡による検査では、照射電子線による E U V 吸収膜の損傷が発生し実用化は困難である。

また、マスクパターンの検査に E U V 光波長である例えば前述の 1 3 . 4 n m 程度の光を使用する方法が提案されているが、検査機に E U V 光源を設置するこ

とは、非常に大きな設備費用が必要となり、しかも従来の紫外光波長を使用する検査機に比べて大気中での吸収を回避するために光学系全てを真空中に保持する構造が必要となり、パターン検査工程が大規模かつ複雑になる。さらに真空排気時間によるスループットが低下するという問題がある。

ここで、図1において、反射層12が多層反射膜である具体例に言及する。すなわち、反射層12としては、屈折率の異なる物質からなる薄膜が交互に積層された多層反射膜が用いられるのが一般的である。例えば、波長13nm付近の光に対する多層反射膜としては、SiとMoを交互に40周期程度積層した多層膜が知られている。

この具体例においては、更に、バッファ層13がSiO<sub>2</sub>膜やCr膜であり、吸収体層14がTaやTa合金であるとする。

さて、図1(d)の工程(反射層12上のバッファ層13の所定部分を除去し、パターン26を形成する工程)後にも、仕様通りの吸収体パターンが形成されているかどうか最終確認の検査が行われる。このパターンの最終検査も、上述した吸収体層14のパターン形成工程(図1(b)の工程)終了後の最初の検査と同様、深紫外光を検査光としてマスク表面での検査光の反射のコントラストを観察することによって行われる。

すなわち、最初の検査においては、上述したように、吸収体層14が除去された部分に露出したバッファ層13表面と、吸収体層14が残っている部分の吸収体層14表面との間で、前記検査光の反射コントラストによる検査がなされるのに対して、最終確認の検査においては、バッファ層13が除去された部分に露出した多層反射膜12表面と、吸収体層14が残っている部分の吸収体層14表面との間で、前記検査光の反射コントラストによる検査がなされることになる。

そのため、検査光の波長に対するバッファ層13表面と吸収体層14表面との反射率の差が小さいと、最初の検査時のコントラストが悪くなり、正確な最初の検査が行えなく、また、検査光の波長に対する多層反射膜表面と吸収体層表面との反射率の差が小さいと、最終検査時のコントラストが悪くなり、正確な最終検査が行えないという問題があった。

例えば、波長257nmの深紫外光を検査光とした場合、EUV光の吸収体層

として用いられるTaやTa合金の反射率は、35%程度と比較的高く、一方、バッファ層の反射率は、SiO<sub>2</sub>で40%程度、Crで50%程度であるため、その反射率差が小さく、パターン検査において、十分なコントラストが得られなかった。また、波長13nm付近の露光光に対して一般に用いられるMo/Si周期多層膜の遠紫外光に対する反射率は60%程度であり、最終確認検査において正確な結果を得るために十分なコントラストを得ることはやはり困難であった。

これに対し、吸収体層の表面を粗くすることで、検査光に対する反射率を低下させることも可能であるが、この場合、パターン形成後のエッジのラフネスが大きくなり、マスクの寸法精度が悪くなるという問題があった。

また、反射率を下げるために窒素を添加することが有効であるが、例えばTaに窒素を添加した窒化タンタル(TaN)は、結晶質であるため、特に金属膜をバッファ層としてその上にTa<sub>2</sub>N膜を形成すると粒状構造となる。この場合も同様に、パターン形成後のエッジラフネスが大きくなり、マスクの寸法精度が悪くなる。

#### 発明の開示

本発明の目的とするところは、正確かつ迅速なマスクパターン検査を可能とする反射型マスク及びマスクブランク並びにそれらの製造方法を提供することにある。

本発明者は、上記課題を解決するために鋭意研究の結果、従来のマスク表面の吸収体層を露光光を吸収する層とマスクパターン検査波長に対する反射率の小さい層とにそれぞれ機能を分離して積層構成することによりパターン検査時のコントラストが十分得られるようになることを見出した。

すなわち、本発明のマスクブランクは、基板上に、順に、EUV領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層、マスクパターン形成時に該反射層を保護するバッファ層、及び露光光を吸収する吸収体層を有してなるマスクブランクであって、前記吸収体層が、EUV領域を含む短波長域の露光光の吸収体で構成する露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成する低反射率層を上層とする少なくとも二層構造としたものである。

また、本発明の反射型マスクは、このようなマスクブランクにおける少なくとも低反射率層及び露光光吸収層がパターン状に形成されたものである。

本発明の反射型マスクは、EUV光用のマスクとして適用される。露光光の波長はEUV光領域であり、具体的には数nm～100nm程度の波長領域である。

そして、この最上層の低反射率層は、具体的にはマスクパターン検査光の波長に対する反射率の小さい材料で形成することが出来る。

本発明は、このように吸収体層を露光光の吸収層（露光光吸収層）と検査光の低反射率層とに機能を分離した積層構成とすることにより、本来の露光光吸収機能を何ら損なうことなく、かつ最表面に形成された低反射率層によりパターン検査波長に対する反射率を著しく低下させる。これにより、この低反射率層表面とパターン形成により吸収体層が除去されて露出したバッファ層表面とのパターン検査波長における反射率の差が大きくなり、検査時のコントラストが十分得られるようになるため、高コントラストの反射像パターンが形成される。したがって、従来使用しているマスク検査機によりマスクパターンの正確かつ迅速な検査を可能とする。

またこのように吸収体層を露光光の吸収層（露光光吸収層）と検査光の低反射率層とに機能を分離することにより、露光光と検査光それぞれの波長の光の吸収、反射特性を最適化でき、より膜厚の値を小さくすることが可能であり、吸収体層を積層構成としても従来の単層構成と同等の膜厚に抑えることができる。このため、露光時のパターンのエッジ部分のぼやけを抑制することが可能であり、またパターン形成のための処理時間の短縮によりパターンダメージを最小化して品質の向上も実現できる。

前記吸収体層における下層の露光光吸収体としては、たとえばクロム、マンガン、コバルト、銅、亜鉛、ガリウム、ゲルマニウム、モリブデン、パラジウム、銀、カドミウム、錫、アンチモン、テルル、沃素、ハフニウム、タンタル、タングステン、チタン、金からなる元素グループから選択された一つの元素と、窒素及び酸素の少なくとも一方と前記選択された一つの元素とを含む物質と、前記元素グループから選択された一つの元素を含む合金と、窒素及び酸素の少なくとも一方と前記合金とを含む物質と、からなる下層物質グループから選ばれる少なく



とも一つで構成することが好ましい。

ここで、上述した元素を含む合金には、上述した元素間での合金、例えば、タンタルゲルマニウム合金 (TaGe)、シリコンとの合金、例えば、タンタルシリコン合金 (TaSi)、タンタルゲルマニウムシリコン合金 (TaGeSi)、ホウ素との合金、例えば、タンタルホウ素合金 (TaB)、タンタルとシリコンとホウ素の合金 (TaSiB)、タンタルとゲルマニウムとホウ素の合金 (TaGeB) 等を含む。

前記吸収体層の上層の低反射率層を構成する検査光吸収体としては、たとえば上記の露光光吸収体を構成する物質の窒化物、酸化物、及び酸窒化物のいずれかと、窒化物、酸化物、及び酸窒化物のいずれかに更に珪素を含むものと、珪素の酸窒化物と、からなる上層物質グループから選ばれる少なくとも一つで構成することが好ましい。

また、本発明のマスクブランクの製造方法は、基板上に、EUV領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層を形成する工程と、マスクパターン形成時に該反射層を保護するバッファ層を該反射層上に形成する工程と、前記バッファ層上にEUV領域を含む短波長域の露光光の吸収体層を形成し、その上にマスクパターンの検査に使用する検査光に対する低反射率層を形成する工程とを有する。吸収体の材質によっては、バッファ層上にEUV領域を含む短波長域の露光光の吸収体層を形成した後、その吸収体層の表面を処理することによりマスクパターンの検査に使用する検査光に対する低反射率層を形成することも可能である。

後者の方法によれば、作業の簡略化と作業時間の短縮を図れる。

また、本発明のマスクブランクの製造方法において、前記露光光の吸収体層上に形成される低反射率層の膜厚と、検査光の波長に対する低反射率層上における反射率との関係を求め、検査光波長に対する低反射率層上における反射率が極小となるように低反射率層の膜厚を選定することが好ましい。

また、本発明の反射型マスクは、マスクブランクにおける吸収体層を構成する上層の低反射率層及び下層の露光光吸収層をパターン状に形成することにより製造されるが、低反射率層及び露光光吸収層をパターン状に形成した後、さらにこの低反射率層及び露光光吸収層が除去された部分のバッファ層を除去することが

好ましい。つまり、このバッファ層を除去することにより反射型マスクとして露光光の反射特性を高めることが出来る。

また、本発明者は上述の課題を解決するために鋭意検討の結果、吸収体層の材料を特定の材料としたことにより、マスクの寸法精度を悪化させずにパターン検査において十分なコントラストが得られることを見出した。

本発明者は、吸収体層として、タンタルとホウ素とを含み、更に酸素又は窒素から選ばれる少なくとも1つの元素を含む材料を用いることで、上記目的が達成できることを見出した。

すなわち、本発明の反射型マスクブランクは、基板と、該基板上に順次形成された、露光光を反射する多層反射膜及び露光光を吸収する吸収体層を備え、前記多層反射膜と吸収体層との間に、前記吸収体層へのパターン形成の為のエッチング時に前記多層反射膜を保護するためのバッファ層が形成された反射型マスクブランクであって、前記吸収体層がタンタル (Ta) とホウ素 (B) と窒素 (N) とを含む材料からなり、Ta と B と N の組成が、B が 5 at% ~ 25 at% であり、且つ、Ta と N の組成比 (Ta : N) が 8 : 1 ~ 2 : 7 の範囲であることを特徴とする。

また、本発明の反射型マスクブランクは、基板と、該基板上に順次形成された、露光光を反射する多層反射膜及び露光光を吸収する吸収体層を備え、前記多層反射膜と吸収体層との間に、前記吸収体層へのパターン形成の為のエッチング時に前記多層反射膜を保護するためのバッファ層が形成された反射型マスクブランクであって、前記吸収体層がタンタル (Ta) とホウ素 (B) と酸素 (O) とを含む材料からなることを特徴とする。この場合、吸収体層を形成する材料は、更に窒素 (N) を含んでいても良い。

また、前記吸収体層を形成する材料の結晶状態としては、アモルファスであることが好ましい。

また、本発明の吸収体層を構成する材料と組み合わせられるバッファ層はクロム (Cr) を含む材料で形成されていることが好ましい。

また、本発明の反射型マスクは、上記の反射型マスクブランクの吸収体層がパターン状に形成されたものである。

## 図面の簡単な説明

図 1 は、従来の反射型マスクの製造工程を示す概略断面図である。

図 2 は、本発明の第 1 の実施形態によるマスクブランクの概略断面図である。

図 3 は、図 2 のマスクブランクを用いて形成された反射型マスクの概略断面図である。

図 4 は、本発明を説明するための図であり、低反射率層として様々な屈折率  $n$  及び消衰係数  $k$  を有する材料を  $10\text{ nm}$  で形成した場合における  $190\text{ nm}$  の検査波長での反射率  $R$  を  $n$  と  $k$  を軸としてプロットした図である。

図 5 は、本発明を説明するための図であり、低反射率層として様々な屈折率  $n$  及び消衰係数  $k$  を有する材料を  $10\text{ nm}$  で形成した場合における  $260\text{ nm}$  の検査波長での反射率  $R$  を  $n$  と  $k$  を軸としてプロットした図である。

図 6 は、本発明を説明するための図であり、低反射率層として様々な屈折率  $n$  及び消衰係数  $k$  を有する材料を  $20\text{ nm}$  で形成した場合における  $190\text{ nm}$  の検査波長での反射率  $R$  を  $n$  と  $k$  を軸としてプロットした図である。

図 7 は、本発明を説明するための図であり、低反射率層として様々な屈折率  $n$  及び消衰係数  $k$  を有する材料を  $20\text{ nm}$  で形成した場合における  $260\text{ nm}$  の検査波長での反射率  $R$  を  $n$  と  $k$  を軸としてプロットした図である。

図 8 は、図 3 の反射型マスクの製造工程を示す概略断面図である。

図 9 は、図 3 の反射型マスクを用いたパターン転写装置の概略構成図である。

図 10 は、本発明の実施例 1-1 及び従来の反射型マスクにおける  $190\text{ nm}$  から  $690\text{ nm}$  までの波長の光に対する反射率の値を示す図である。

図 11 は、本発明の実施例 1-2 及び従来の反射型マスクにおける  $190\text{ nm}$  から  $690\text{ nm}$  までの波長の光に対する反射率の値を示す図である。

図 12 は、本発明の実施例 1-3 及び従来の反射型マスクにおける  $190\text{ nm}$  から  $690\text{ nm}$  までの波長の光に対する反射率の値を示す図である。

図 13 は、本発明の実施例 1-11 の  $\text{TaBN}/\text{TaBO}$  中間領域を説明するための図である。

図 14 は、本発明の第 2 の実施形態による反射型マスクの製造工程を示す概略

断面図である。

図 1 5 は、本発明の第 2 の実施形態による反射型マスクの吸収体パターンの検査方法を示す模式図である。

図 1 6 は、本発明の第 2 の実施形態による反射型マスクの吸収体パターンの検査方法を示す模式図である。

図 1 7 は、図 1 4 の反射型マスクを用いて半導体基板上へのパターン転写を行うパターン転写装置の概略構成図である。

発明を実施するための最良の形態

#### [第 1 の実施形態]

以下、本発明の第 1 の実施形態を図面を参照しながら詳述する。

図 2 は本発明の第 1 の実施形態によるマスクブランクの概略断面図、図 3 は図 2 のマスクブランクを用いて形成された反射型マスクの概略断面図である。

本発明の第 1 の実施形態によるマスクブランクは、図 2 に示すように構成されている。すなわち、基板 1 1 上に、順に、EUV 領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層 1 2、マスクパターン形成時に該反射層 1 2 を保護するバッファ層 1 3、及び露光光を吸収する吸収体層 1 6 を有してなり、この吸収体層 1 6 は、本実施形態では下層を EUV 領域を含む短波長域の露光光の吸収体からなる露光光吸収層 1 4 とし、上層をマスクパターンの検査に使用する検査光に対する低反射率層 1 5 とした二層構造で構成されたマスクブランク 1 である。

また、図 3 に示すように、本発明の反射型マスク 2 は、このようなマスクブランク 1 における少なくとも前記吸収体層 1 6、すなわち低反射率層 1 5 及び露光光吸収層 1 4 がパターン状に形成されたものである。

本発明の反射型マスクは、マスク表面の吸収体層を露光光を吸収する層とマスクパターン検査波長に対する反射率の小さい層とにそれぞれ機能を分離して積層構成することにより、マスクパターン検査時のコントラストが十分得られるようにしている。

本発明の反射型マスクは、従来のフォトリソグラフィ法による転写限界を上回るより微細なパターンの転写を可能とするため、EUV 光の領域を含む短波長

域の光を使用するリソグラフィーに用いられるもので、EUV光用の反射型マスクとして使用することができる。

次に、各層の構成について説明する。

基板11は、通常、石英ガラスやシリコンウエハなどを適宜光学研磨したものが用いられる。基板11の大きさや厚みなどはマスクの設計値等により適宜決定されるもので本発明においては任意である。

露光光反射層12は、EUV領域を含む短波長域の露光光を反射する材質で構成されるが、当然のことながら、EUV光などの短波長域の光に対する反射率が極めて高い材質で構成することが反射型マスクとして使用する際のコントラストを高められるので特に好ましい。たとえば、12～14nm程度の軟X線領域であるEUV光の反射層としては、シリコン(Si)とモリブデン(Mo)の薄膜を交互に積層した周期積層膜が代表的である。通常は、これらの薄膜(数nm程度の厚さ)を40～50周期(層数)繰り返して積層し多層膜とする。この多層膜の成膜は、たとえばイオンビームスパッタ法やマグネトロンスパッタ法などを用いて行う。

バッファ層13は、前述したように表面の露光光の吸収体層16にマスクパターンを形成する際に下層の反射層12がエッチング処理によるダメージを受けないようにこれを保護することを目的として設けられる。

したがってバッファ層13の材質としては、マスク表面の吸収体層16のエッチング処理による影響を受けにくい、つまりこのエッチング速度が吸収体層16よりも遅くエッチングダメージを受けにくく、なお且つ後でエッチングにより除去可能な物質が選択される。たとえばCr、Al、Ru、Ta及びこれらの窒化物、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ などの物質が好ましく、この中から吸収体層16の材質やエッチング方法などを考慮して適宜選択する。なお、このバッファ層13を後で除去可能としたのは、吸収体層16をパターン状に形成した後、さらにこの吸収体層16が除去された部分のバッファ層13を除去して前記反射層12表面を露出させることにより反射型マスクとして露光光の反射特性を高めることが出来、より望ましいからである。また、たとえば上記のCrなどの物質を選択すると、EUV光に対する吸収特性を有しているので、バッファ層13に露

光吸収層の機能をもたせることが出来、その分上層の吸収体層 16 の膜厚をより減らすことが可能となるため、露光時のパターンのエッジ部分のぼやけを抑制でき、またパターン形成のための処理時間の短縮によりパターンダメージを減らすことができる。ただし、この場合はパターニングにより吸収体層 16 が除去された部分のバッファ層 13 を除去することは必須である。

なお、バッファ層 13 の膜厚の値は小さいことが望ましい。なぜなら、図 3 を参照すると明らかなように、バッファ層 13 の膜厚が大きいと、反射層 12 表面と吸収体層 16 表面との高さの差が大きくなり、約 5 度程度の入射角を有する EUV 露光の光路の関係からマスクパターンのエッジ部分がぼやけるといふ不具合が発生するためである。さらに、バッファ層 13 を後でエッチングにより除去する場合においても膜厚は薄い方がその処理時間が短縮できるので望ましい。したがって、このバッファ層 13 の膜厚は、100 nm 以下、好ましくは 80 nm 以下である。

このバッファ層 13 の成膜は、前述の反射層 12 の場合と同様にマグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法など周知の成膜方法を用いて行うことができる。

なお、バッファ層は必要に応じて設ければよく、吸収体へのパターン形成方法、条件によっては直接反射層上に吸収体層を設けても良い。

吸収体層 16 は、すでに述べたように、下層を EUV 領域を含む短波長域の露光光の吸収体からなる露光光吸収層 14 とし、上層をマスクパターンの検査に使用する検査光の低反射率層 15 とした二層構造で構成されている。本発明は、このように吸収体層 16 を露光光の吸収層と検査光の低反射率層とに機能を分離した積層構成としている。

下層の露光光吸収層 14 は、EUV などの短波長域の光を吸収する材質で構成される。このような露光光吸収体としては、たとえばクロム、マンガン、コバルト、銅、亜鉛、ガリウム、ゲルマニウム、モリブデン、パラジウム、銀、カドミウム、錫、アンチモン、テルル、沃素、ハフニウム、タンタル、タングステン、チタン、金からなる元素グループから選択された一つの元素と、窒素及び酸素の少なくとも一方と前記選択された一つの元素とを含む物質と、前記元素グループ

から選択された一つの元素を含む合金と、窒素及び酸素の少なくとも一方と前記合金とを含む物質と、からなる下層物質グループから選ばれる少なくとも一つで構成することが好ましい。

例えば、タンタルの場合、タンタル単体 (Ta)、タンタル窒化物 (Ta<sub>3</sub>N<sub>2</sub>)、タンタル酸化物 (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、タンタルシリコン合金 (TaSi)、タンタルシリコン合金の窒化物 (TaSi<sub>3</sub>N<sub>2</sub>)、タンタルホウ素合金 (TaB)、タンタルホウ素合金の窒化物 (TaBN)、タンタルゲルマニウム合金 (TaGe)、タンタルゲルマニウム合金の窒化物 (TaGeN) 等が挙げられる。

またこの上層の検査光の低反射率層 15 に最低限必要とされる特性は、マスクパターン検査波長に対して低反射であること、パターン形成加工が可能であること、バッファ層をエッチング除去する際にエッチングされないこと（バッファ層とのエッチング選択比があること）である。さらに、EUV 光の吸収機能を有していると、吸収体層 16 の合計膜厚を小さくできるためより好ましい。

マスクパターン検査には通常は 190～260 nm 程度の深紫外 (Deep Ultra Violet) 光、たとえば前記の 257 nm あるいは 193 nm 程度の波長の光を使用するので、このような検査光波長に対する反射率の小さい材料としては、たとえば上記の露光光吸収体を構成する物質の窒化物、酸化物、酸化窒化物、あるいは、これらに更に珪素を含む材料、珪素の酸窒化物が挙げられる。

低反射率層の材料として、窒化物は検査波長での反射率を下げる効果があり、また多結晶膜の場合、結晶粒径を小さくし、平滑性を向上させる効果も有する。また、酸化物は検査波長での反射率を下げる効果が上記窒化物よりも大きい。また、珪素化合物は検査波長での反射率を下げる効果は少ないが、反射率が低くなる波長領域を広げる効果を有する。すなわち、窒化物や酸化物の場合は特定の波長部分のみに反射率の極小値を有するカーブが得られるが、これらの物質に更に珪素を加えると、広い波長範囲で低反射率が得られるようになる（後述の実施例 1-1 及び実施例 1-2 における図 10 及び図 11 参照）。このように広い波長範囲で低反射率が得られると、検査波長の変更に柔軟に対応でき、また最上層の膜厚の変化により極小値がシフトしたときにも反射率の変化が小さいため、膜厚の設計値からのずれの許容値が大きくなり、製造上の制約がゆるくなるという利点が

ある。

したがって、低反射率層の材料としては化合物内に窒素又は酸素が含まれることが必要であり、上記したように前記の露光光吸収体を構成する物質の窒化物、酸化物、及び酸窒化物のいずれかと、窒化物、酸化物、及び酸窒化物のいずれかに更に珪素を含むものと、珪素の酸窒化物と、からなる上層物質グループから選ばれる少なくとも一つで構成することが好ましい。

なお、ホウ化物は反射率にはあまり寄与しないが、膜の結晶性（アモルファス化）に関係し膜の平滑性に寄与するため、化合物にホウ素を含めることにより低反射率層の膜の平滑性が改善される。

ここで、低反射率層の材料の具体例を挙げると、下層の露光光吸収層に使用される金属の酸化物、窒化物、酸窒化物、下層の露光光吸収層に使用される金属とホウ素との合金の酸化物、窒化物、酸窒化物、下層の露光光吸収層に使用される金属と珪素との合金の酸化物、窒化物、酸窒化物、下層の露光光吸収層に使用される金属と珪素とホウ素との合金の酸化物、窒化物、酸窒化物等である。例えば露光光吸収体金属としてタンタルを用いる場合、タンタル酸化物（ $TaO$ ）、タンタル窒化物（ $TaN$ ）、タンタル酸窒化物（ $TaNO$ ）、タンタルホウ素合金の酸化物（ $TaBO$ ）、タンタルホウ素合金の窒化物（ $TaBN$ ）、タンタルホウ素合金の酸窒化物（ $TaBNO$ ）、タンタルシリコン合金の酸化物（ $TaSiO$ ）、タンタルシリコン合金の窒化物（ $TaSiN$ ）、タンタルシリコン合金の酸窒化物（ $TaSiON$ ）、タンタルシリコンホウ素合金の酸化物（ $TaSiBO$ ）、タンタルシリコンホウ素合金の窒化物（ $TaSiBN$ ）、タンタルシリコンホウ素合金の酸窒化物（ $TaSiBNO$ ）、タンタルゲルマニウム合金の窒化物（ $TaGeN$ ）、タンタルゲルマニウム合金の酸化物（ $TaGeO$ ）、タンタルゲルマニウム合金の酸窒化物（ $TaGeNO$ ）、タンタルゲルマニウムシリコン合金の窒化物（ $TaGeSiN$ ）、タンタルゲルマニウムシリコン合金の酸化物（ $TaGeSiO$ ）、タンタルゲルマニウムシリコン合金の酸窒化物（ $TaGeSiNO$ ）等が挙げられる。

低反射率層の膜厚を変化させると、反射率カーブの極小値の位置がシフトする。例えば、 $TaO$ や $TaSiON$ 等のタンタル系又はモリブデン系の場合、膜厚を



厚くすると長波長側にシフトする傾向にある。したがって、低反射率層の膜厚を変えると特定波長における反射率も変化するので、ある程度膜厚を調整して検査波長における反射率が極小となるようにコントロールすることが可能である。ただし、後で説明するように、低反射率層の膜厚をあまり厚くすると好ましくないため5～30nm位の間で調整することになる。好ましくは10～20nmである。また、低反射率層材料の組成比、例えば金属と酸素、窒素等の組成比を変化させると反射率が変化する。一般に、酸素や窒素の組成比が増えると反射率は低下するが、EUV光の吸収率は低下する傾向にある。

上述したように、窒化物と酸化物とでは、反射率低下の効果は酸化物の方が大きい傾向にあるため、低反射率層の材料としては、金属と酸素と珪素を含む材料（たとえば金属と酸素と珪素を主成分として含む材料、金属と珪素と酸素と窒素を主成分として含む材料など）が反射率低下及び反射率が低下する波長の広さの点からもっとも好ましい。また、ここで前記露光光吸収体として使用される金属元素を用いることにより、低反射率層はEUV光の吸収機能も併せ持つことになり更に好ましい。

もちろん、反射率が低下する波長領域は少し狭いものの、珪素を含まない酸化物でも特定の波長領域において低反射率が得られる。また、材料にもよるが、窒素を含むだけでは十分な反射率低下が得られないことがあるが、金属単体よりもその窒化物の方が反射率は低下する。また、前述のように窒素を加えることで膜の平滑性向上の効果が得られる。膜の平滑性が悪いとパターンのエッジラフネスが大きくなりマスクの寸法精度が悪化するため、膜はなるべく平滑なほうが望ましい。

また、低反射率層の材料として、金属を含まない例えば珪素と窒素と酸素からなる材料（シリコンの酸窒化物）などを用いることもできる。ただし、この場合は低反射率層におけるEUV光の吸収効果は小さい。

低反射率層が例えば金属とSiとNとOとを含む材料で構成される場合、検査波長である190～260nm程度の深紫外光で低反射率を得るための組成比としては、たとえばタンタル、モリブデン、クロム等の金属は20～25at%、Siは17～23%、Nは15～20%、残りがOであることが好ましい。また、

SiとOとの比は1 : 1.5 ~ 1 : 2程度であることが好ましい。

吸収体層表面を平滑とするためには、低反射率層はアモルファス構造の膜であるのが好ましい。例えば、Taの場合、Bを適宜を含むことで、アモルファス化が行える。

又、TaにSiやGeなどを加えることでも、アモルファスの膜が得られるため好ましい。

また、低反射率層が例えばタンタルホウ素合金の窒化物 (TaBN) で構成される場合、上記検査波長で低反射率を得るための組成比としては、Nは30 ~ 70 at %であることが好ましく、更には40 ~ 60 at %であることが好ましい。Nの量が少ないと十分な低反射特性が得られず、逆に多過ぎると耐酸性が低下する。さらに、低反射率層とその下の吸収体層がともに上記タンタルホウ素合金の窒化物の場合、低反射率層のNは30 ~ 70 at %、更に好ましくは40 ~ 60 at %であり、吸収体層のNは0 ~ 25 at %、更に好ましくは5 ~ 20 at %である。吸収体層のNの量が少ないと表面粗さの点で好ましくなく、逆に多いとEUV光の吸収係数が低下する。

また、TaBN膜の場合、Bが5 ~ 30 at %好ましくは5 ~ 25 at %であり、TaとNの組成比が8 : 1 ~ 2 : 7であるのが好ましい。

また、低反射率層がタンタルホウ素合金の酸化物 (TaBO) の場合は、Oは30 ~ 70 at %、更に好ましくは40 ~ 60 at %である。Oの量が少ないと低反射特性が得られず、逆に多いと絶縁性が高くなり、電子線照射によりチャージアップが生じる。またさらに低反射率層がタンタルホウ素合金の酸窒化物 (TaBNO) の場合は、Nは5 ~ 70 at %、Oは5 ~ 70 at %であることが好ましい。

又、TaBO膜の場合には、Bが5 ~ 25 at %であり、TaとOの組成比が、7 : 2 ~ 1 : 2の範囲であるのが好ましい。TaBNO膜の場合には、Bが5 ~ 25 at %であり、Taと、N+Oとの組成比がTa : (N+O) が7 : 2 ~ 2 : 7の範囲であるのが好ましい。

なお、これらホウ素を含む物質はいずれの場合もBの割合が5 ~ 30 %程度、さらに好ましくは5 ~ 25 %であることがアモルファス構造を形成する点で好ま

しい。

ところで、下層の露光光吸収層 14 と上層の低反射率層 15 における材料の組み合わせについて説明すると、露光光吸収層 14 に使用した金属を低反射率層 15 に含むことが好ましい。たとえば、露光光吸収層としてタンタルを含む材料を使用した場合は、低反射率層もタンタルを含む材料で構成する。具体的には、露光光吸収層にタンタルを含む材料、例えば Ta 単体、Ta N、Ta B、Ta B N、Ta B O、Ta B N O 等のうち 1 種の物質を用い、低反射率層にはタンタルと窒素又は酸素を含む材料、例えば Ta O、Ta B O、Ta B N O、Ta N O、Ta S i O、Ta S i O N 等のうち 1 種の物質を用いることができる。このように、低反射率層に露光光吸収層と同一の金属を用いることにより、EUV 光の吸収機能を有する金属を含んでいるので低反射率層が EUV 光の吸収機能のある程度有すること、バッファ層と露光光吸収層はエッチング選択比が大きい材料が選定されるため、基本的にバッファ層と低反射率層間でもエッチング選択比が大きく取れること、露光光吸収層と低反射率層の成膜を同じ成膜室で行えること、露光光吸収層と低反射率層のパターン形成が同じエッチング条件で行えること、等の種々の利点がある。

下層の材料をアモルファス構造又は微結晶構造を有する膜とすれば平滑性に優れた膜が得られるため、一層好ましい。

なお、反射率に関しては、低反射率層の材料の組成と吸収体層表面での反射率との関係、膜厚と反射率との関係を求めることにより、使用する検査波長において低反射率が得られる組成及び膜厚を決定することが可能である。

又、本発明の反射型マスク及び反射型マスクブランクにおいて、吸収体層表面の好ましい表面粗さは、0.5 nm R m s 以下、更に好ましくは、0.4 nm R m s 以下、0.3 nm R m s 以下であれば更に好ましい。吸収体層表面の表面粗さが大きいと、吸収体パターンのエッジラフネスが大きくなり、パターンの寸法精度が悪くなる。パターンが微細になるに従いエッジラフネスの影響が顕著になるため、吸収体表面は平滑である事が要求される。

吸収体表面における表面粗さを小さくするために、吸収体層上層（低反射率層）をアモルファス構造の膜とすることが有効である。又、吸収体層下層もアモルフ

ァス構造或いは微結晶構造の平滑性に優れた膜であれば更に好ましい。又、バッファ層を有する場合には、バッファ層に平滑な膜を使用する事も必要である。

次に、露光光吸収層 1 4 及び低反射率層 1 5 と前記バッファ層 1 3 における材料の組み合わせについて説明する。本発明では、露光光吸収層 1 4 及び低反射率層 1 5 をタンタルを含む材料で形成し、バッファ層 1 3 としてはクロムを含む材料を用いることが好ましい。バッファ層にクロム系の材料を用いることにより、前にも述べたようにバッファ層に E U V 光の吸収機能を持たせることができること、深紫外領域の検査光に対する反射率が 4 0 % 程度であり、多層反射膜表面、バッファ層表面、吸収体層表面を順次検査波長に対する反射率が低下するように設計しやすいこと、タンタルを含む吸収体層とのエッチング選択比が大きく取れること、更には、バッファ層除去時に多層反射膜へのダメージをほとんど与えずに除去できること等の利点がある。

バッファ層として用いられるクロムを含む材料としては、C r 単体以外に、C r と N, O, C から選択される少なくとも一つの元素を含む材料を好ましく用いることができる。例えば、窒化クロム (C r N)、酸化クロム (C r O)、炭化クロム (C r C)、酸化窒化クロム (C r N O)、炭化窒化酸化クロム (C r C N O) 等が挙げられる。

例えば、窒化クロム (C r N) の場合、クロムと窒素の好ましい組成比は、 $C r_{1-x}N_x$  で表した場合、 $0.05 \leq X \leq 0.5$  であり、更に好ましくは  $0.05 \leq X \leq 0.2$  である。X が 0.05 よりも小さいと、耐酸性、膜応力、表面粗さの点で好ましくなく、X が 0.5 より大きいと、検査光に対する反射率が低下しすぎるため、吸収体層表面とのコントラストを大きく取れなくなる。また、窒化クロムに酸素、炭素等を 5 % 程度の少量添加してもよい。C r N 膜を微結晶構造を有する膜とすれば、平滑性に優れるため好ましい。

下層の露光光吸収層 1 4 と上層の検査光の低反射率層 1 5 で構成された吸収体層 1 6 の全体の膜厚も小さい方が好ましい。なぜなら、吸収体層 1 6 のパターンニング時におけるエッチング処理時間が膜厚に比例するためである。このエッチング処理においてはレジストパターン表面が吸収体層 1 6 の膜厚に比例したエッチング処理時間だけダメージを受けることになる。これによりエッチングの面内分

布不良が発生しやすく、白欠陥や黒欠陥の発生頻度増大によるマスクパターン欠陥の増大、さらにそれら欠陥の修復に多大な時間を要することによる量産性低減とそれに起因するコスト増大などという重大な問題が発生する。さらには吸収体層 1 6 全体の膜厚が大きいと、前述のバッファ層 1 3 の膜厚が大きい場合と同様に、反射層 1 2 表面と吸収体層 1 6 表面との高さの差が大きくなり、露光時にマスクパターンのエッジ部分がぼやけるという不具合が発生する。

したがって、吸収体層 1 6 の全体の膜厚は、100 nm 以下、好ましくは 80 nm 以下、さらに好ましくは 60 nm 以下である。ただし、吸収体層 1 6 の膜厚の値が小さすぎると露光光の吸収特性までが低下するので薄くても 35 nm 以上であることが好ましい。

また、吸収体層 1 6 において、上層の低反射率層 1 5 の膜厚が下層の露光光吸収層 1 4 の膜厚よりも小さい方が望ましい。上層の低反射率層 1 5 の膜厚があまり厚いと吸収体層 1 6 全体での EUV 光吸収特性が低下するおそれがある。したがって、上層の低反射率層 1 5 の膜厚は、5 ~ 30 nm 程度であることが好ましく、下層の露光光吸収層 1 4 の膜厚は、30 ~ 60 nm 程度であることが好ましい。なお、前述したように、吸収体層 1 6 は積層構成であるが従来の単層構成と同じくらいの厚さに抑えることも可能であり、さらにはバッファ層 1 3 に露光光吸収層としての機能をも持たせることにより、その分、上層の露光光吸収層 1 4 の吸収特性が低下してもその膜厚を減らすことが可能である。

また、バッファ層 1 3 と吸収体層 1 6 の合計膜厚の好ましい範囲は、60 nm ~ 130 nm である。材料にもよるが、合計膜厚が 60 nm 未満であると十分な EUV 光の吸収特性が得られないおそれがあり、130 nm よりも厚くなるとパターン自身の影の問題が大きくなる。

この露光光吸収層 1 4 及び低反射率層 1 5 についても、前述の反射層 1 2 やバッファ層 1 3 と同様にマグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法、その他 CVD 法、蒸着法などの周知の成膜方法を用いて成膜を行うことができる。

ところで、パターン検査光波長に対する反射率は、露光光反射層表面、バッファ層表面、低反射率層表面の順に低くなるように設計するのが好ましい。なぜなら、パターン形成後のバッファ層表面と低反射率層表面の間での検査、バッファ

層除去後の露光光反射層表面と低反射率層表面の間での検査のいずれにおいても、パターンのある部分が暗くなり、パターンコントラストが反転することがないので、検査機の設定を変更する必要がなく、結果が判りやすい。また、露光光反射層として用いられるMo/Si多層膜の場合、反射率が約60%と高いため、各層とのコントラストを十分とるためには、その他の層の反射率を下げるほうが有利である。

次に、低反射率層15の材料の屈折率 $n$ と消衰係数 $k$ の値と、検査波長に対する反射率との関係について説明する。

図4、図5、図6、及び図7は、窒化クロムをバッファ層(50nm)とし、露光光吸収層をタンタルホウ素合金の窒化物(TaBN)(Nは約18%)50nmに形成し、その上に低反射率層として様々な屈折率 $n$ 及び消衰係数 $k$ を有する材料を10nm又は20nmの膜厚に形成した場合の190nm及び260nmの検査波長での反射率 $R$ を $n$ と $k$ を軸としてプロットしたものである。この結果より特定の範囲の $n$ 及び $k$ を満たす材料を用いると低反射率が得られることが分かる。

すなわち、検査波長や膜厚と好ましい $n$ 及び $k$ の範囲の関係は次のようになっている。

(1) 膜厚が10nmの場合と20nmの場合では、消衰係数 $k$ はどちらの膜厚でも大体0.7以下であれば反射率は10%以下となる。そして、反射率を20%以下まで許容すると $k$ は1.2以下である。このとき、屈折率 $n$ の好ましい範囲は、膜厚10nmの場合と20nmの場合では少し異なり、膜厚20nmの場合、 $n$ が1.5~2.5程度で反射率 $R$ は10%以下となり、反射率を20%以下まで許容すると $n$ は1~3程度である。膜厚10nmの場合は、 $n$ が2.0~3.5程度で反射率 $R$ は10%以下となり、反射率が20%以下であれば $n$ は1.5~4.0程度である。

(2) 検査波長190nmの場合と260nmの場合では、それほど大きく変わらないが、260nmの場合の方が少し好ましい $n$ の範囲が大きめにシフトする傾向にある。

(3) 以上を総合して考えると、膜厚が10nm~20nmの場合、深紫外光

領域で反射率を10%以下とするには、消衰係数 $k$ が0.7以下、屈折率 $n$ が1.5～3.5であるような材料を選択すればよい。

また、吸収体層16は本実施形態のような二層等のいわゆる積層構造になっていてもよいが、窒素や酸素が吸収体層16のパッファ層13側から吸収体層表面に向かって所定の分布を有するようになっていてもよい。この場合、吸収体層表面に向かって窒素や酸素の量が増加するようにすることで吸収体層16表面での検査光に対する反射率を低下できる。吸収体層の厚み方向での窒素や酸素の組成分布は直線状や曲線状に連続的に変化していてもよく、また階段状に変化していてもよい。このような吸収体層の厚み方向の窒素や酸素の組成分布は、成膜中に添加する元素の量をコントロールすることで実現できる。例えば、TaBN膜の場合、TaとBを含むターゲットを用いたスパッタリング法の際に、添加する窒素ガスの量を変化させながら成膜を行うことにより、吸収体層16の厚み方向に窒素の連続的又は階段状の組成分布を形成できる。

更に、本発明の反射型マスクブランク及び反射型マスクは、吸収体層の下層と上層の間に、下層の組成から上層の組成へと連続的に組成が変化する中間領域を有していても良い。

この中間領域は、下層に含まれる元素と、上層に含まれる元素が混じった遷移領域となる。

このような中間領域を有していることで、吸収体層にパターンを形成する際に、上層と下層との間に境界を生じず、滑らかな断面構造を有するパターンが得やすい。

上層と下層に含まれる金属元素が同一である場合には、連続的に吸収体層へのパターン形成が行えるため、好ましい。又、上層と下層の密着性が向上するという利点もある。

中間領域の膜厚は、2～15nm程度あればよい。

次に、図8を参照して本発明の反射型マスクの製造方法を説明する。図8は本発明の反射型マスクの製造工程を示す概略断面図である。

図8(a)はマスクブランク1の構成を示している。その構成についてはすでに上述したとおりである。このマスクブランク1は、基板11上に、露光光反射

層 1 2、バッファ層 1 3、露光光吸収層 1 4、および検査光の低反射率層 1 5 をこの順に積層して形成される。

ここで、バッファ層 1 3 上に先ず露光光吸収層 1 4 を成膜し、次いでその上に検査光の低反射率層 1 5 を成膜する方法を採用できるが、低反射率層の材質によっては、たとえば下層の露光光吸収層 1 4 と同じ金属の酸化物を上層の低反射率層 1 5 とする場合においては、バッファ層 1 3 上に露光光吸収層 1 4 を形成した後、その露光光吸収層 1 4 の表面を酸素ガスを含むプロセスガスを用いた酸化処理、あるいは酸溶液による酸化処理を施すことにより最表面に検査光の低反射率層 1 5 を形成することも可能である。後者の方法によれば、成膜条件の変更などに要する時間を短縮でき、材料種類の低減、成膜室数の低減ができ、作業の簡略化と作業時間の短縮を図れる。

又、上層の低反射率層と、下層の形成は、同一成膜室内で、連続的に行うのが好ましい。このようにすることで、下層と上層の間に、下層表面への不純物・異物の吸着や、表面の変質（酸化）等を防止して、下層と上層との間に良好な界面が得られる。

上層と下層との間の界面に、不純物の吸着や変質などがあると、吸収体層の応力に変化が生じたり、又、光学的な性質、例えば検査光の反射率等に影響を及ぼすため、界面のパラメータを考慮しなければならなくなり、設計どおりの特性が得られず、再現性や制御性が悪くなる。

一方、同一成膜室内での下層と上層の連続的な形成を行えば、基板を成膜室外に取り出したり、放置したりしないため、界面への不純物の吸着や、変質が起こらず良好な界面が得られるため、再現性・制御性良く吸収体層が形成できる。又、成膜工程が複雑にならないという利点もある。

同一成膜室内での連続的な上層と下層の形成は、上層と下層にそれぞれ金属元素が含まれており、これらの金属元素が同一である場合には、特に有効である。金属元素の供給源を共通として、成膜中に供給するガスを変えることで、連続して成膜を行えるからである。

例えば、反応性のスパッタリング法を用いる場合、上層と下層に共通の金属元素を含むターゲットを用い、供給するガス（窒素、酸素等）の含有量を変えるこ



とで、連続的な成膜を容易に行うことができる。

例えば、上層及び下層にTaを含む材料を用いる場合、Taを含むターゲットを共通に使用し、低反射化のために導入するガス（酸素や窒素等）の含有量、種類を下層の形成時と、上層の形成時で変えればよい。

又、同一成膜室内での連続成膜を行うことで、意図的に、上層と下層との間に、容易に上述した組成が連続的に変化する中間領域を導入することができる。

具体的には、下層の成膜条件から上層の成膜条件へと連続的に成膜条件を変化させればよい。下層と上層に含まれる金属元素が共通の場合には、ターゲット等の金属元素源を共通とし、導入する酸素や窒素等ガス流量を変化させればよいが、この時、下層の形成と上層の形成との間において、下層の形成に用いるガスの流量を減少或いは停止させると共に、上層の形成に用いるガスの導入量を増大させ、或いは導入を開始して、連続的にガス流量を変化させることで、両層の形成に用いるガスが同時に存在する状態で成膜を行えば、中間領域を容易に形成することができる。

次に、EUV光の吸収体である露光光吸収層14及び検査光の低反射率層15からなる吸収体層16を加工して所定のパターンを有する吸収体パターンを形成する（パターニング工程、図8（b）参照）。通常は、吸収体層16の表面に電子線描画プロセスにより所定のパターンを有するレジストパターンを形成し、次いで吸収体層のエッチング処理を行う。エッチング処理はドライエッチングあるいはウェットエッチングでもよく、材質によって適当な方法とその条件を選択する。最後に残存するレジストパターンを除去する。

次いで、この段階で吸収体パターンが設計通りに形成されているかどうかの検査を実施する。このパターン検査の結果、例えば図8（b）に示すように、パターン形成時におけるレジスト層への異物付着などに起因するピンホール欠陥（白欠陥ともいう）21と、エッチング不足欠陥（黒欠陥ともいう）22が存在した場合、必要な修復を施す。上記ピンホール欠陥21については集束イオンビーム（Focused Ion Beam：FIB）アシストデポジション法により炭素膜23をピンホールに堆積させて修復し、またエッチング不足欠陥22についてはFIB励起のガスアシストエッチングにより残留部分22aを除去して修復することにより二層

構成の吸収体層 1 6 の除去部分 2 5 を得る。このときのイオン照射によるエネルギーによってバッファ層 1 3 表面にはダメージ部分 2 4 (FIB により除去された部分 2 4 a 及び FIB イオンが入り込んだ部分 2 4 b) が存在する (図 8 (c) 参照)。

次に、この吸収体層 1 6 が除去された部分 2 5 に対応するバッファ層 1 3 をたとえばドライエッチングにより除去する (バッファ層の除去工程)。この際、バッファ層 1 3 のみにエッチングが進行して、他の層には損傷を与えないようにエッチング条件を設定することが重要である。こうして、露光光反射層 1 2 のパターン 2 6 を形成することにより、反射型マスク 2 を作製する (図 8 (d) 参照)。

このようにして作製した反射型マスク 2 に E U V 光 3 1 で露光するとマスク表面の吸収体パターンのある部分では吸収され、それ以外の吸収体層 1 6 およびバッファ層 1 3 を除去した部分では露出した反射層 1 2 で E U V 光 3 1 が反射されることにより (図 8 (e) 参照)、E U V 光を用いるリソグラフィー用のマスクとして使用することが出来る。

本発明の反射型マスクは、このように、従来は単層であった吸収体層を下層の露光光吸収層 1 4 と上層の検査光の低反射率層 1 5 とにそれぞれ機能を分離した積層構成としたことにより、十分な露光光吸収機能を有し、なおかつ最表面に形成された上層の検査光の低反射率層 1 5 表面のパターン検査光波長における反射率が著しく低下する。これにより、この検査光の低反射率層 1 5 表面とマスクパターン形成により吸収体層 1 6 が除去されて露出したバッファ層 1 3 表面 (図 8 (b) 参照) とのパターン検査光波長における反射率の差が大きくなり、検査時のコントラストが十分得られる。このため、高コントラストの反射像パターンが得られる。したがって、従来の 2 5 7 n m など深紫外領域の波長の光を用いたマスク検査機を使用して、従来は困難であったマスクパターンの正確かつ迅速な検査が可能である。

なお、コントラストについて更に説明すると、たとえば上述の検査光の吸収体層 1 5 表面とバッファ層 1 3 表面のそれぞれの反射率の値の比をもって一般にコントラストの大きさの指標とすることが可能であるが、下記の定義式も知られており、これによる値をもってコントラストの大きさの指標とすることも可能であ

る。

すなわち $R_1$ 及び $R_2$ はそれぞれある波長における反射率で、 $R_2$ が $R_1$ よりも大きい場合、

$$\text{コントラスト (\%)} = \{(R_2 - R_1) / (R_2 + R_1)\} \times 100$$

パターン検査において十分なコントラストが得られればよいが、ひとつの目安として、上記の反射率の比であらわすと、好ましくは1 : 3以下、より好ましくは1 : 4以下、さらに好ましくは1 : 10以下である。また、上記定義式であらわされるコントラストの値は、好ましくは40%以上、50%以上、より好ましくは60%以上、さらに好ましくは80%以上である。ここでのコントラスト値は吸収層と反射層とのコントラスト又は吸収体とバッファ層との間のコントラストである。なお、低反射率層15の好ましい反射率は20%以下、より好ましくは10%以下、さらに好ましくは5%以下である。

#### [実施例]

以下、実施例をもって本発明をさらに具体的に説明する。なお、説明の便宜上、前述の図2、図3及び図8に記載した符号を適宜使用している。

#### 実施例1-1

基板11上に各層を成膜してマスクブランクを作製した。ここでは、基板11として外形6インチ角、厚さが6.3mmの低膨張の $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 系のガラス基板を用いた。このガラス基板は、機械研磨により0.12nmRms (Rms : 二乗平均平方根粗さ) の平滑な表面と100nm以下の平坦度とした。

まず、この基板11の上に、EUV光の反射層12としてモリブデン (Mo) とシリコン (Si) の積層膜Mo/SiをDCマグネトロンスパッタ法により積層した。まずSiターゲットを用いて、Arガス圧0.1PaでSi膜を4.2nm成膜し、次いでMoターゲットを用いて、Arガス圧0.1PaでMo膜を2.8nm成膜し、これを1周期として40周期積層した後、最後にSi膜を7nm成膜した。合計膜厚は287nmである。この多層反射膜の波長257nmの光に対する反射率は60%である。

その上に、バッファ層13として $\text{SiO}_2$ 薄膜を膜厚50nmに成膜した。これは、Siターゲットを用い、アルゴン (Ar) および酸素 ( $\text{O}_2$ ) の混合ガス

によるDCマグネトロンスパッタ法により成膜した。 $\text{SiO}_2$ バッファ層上の表面粗さは $0.4\text{ nmRms}$ であった。

さらにその上に、露光光吸収層（EUV光の吸収体からなる）14として、窒化タンタル（ $\text{Ta}_2\text{N}_3$ ）薄膜を膜厚 $50\text{ nm}$ に形成した。これはTaターゲットを用い、アルゴンおよび窒素（ $\text{N}_2$ ）の混合ガスによるDCマグネトロンスパッタ法により成膜した。この膜組成は、 $\text{Ta}_{61}\text{N}_{39}$ であった。

最後に、その上に、波長 $257\text{ nm}$ の検査光の低反射率層15として、 $\text{TaSiON}$ 薄膜を膜厚 $20\text{ nm}$ に成膜した。これは、 $\text{TaSi}$ 合金ターゲットを用い、アルゴン、酸素及び窒素の混合ガスによるDCマグネトロン反応性スパッタ法により成膜した。この膜組成は、 $\text{Ta}_{21}\text{Si}_{17}\text{O}_{47}\text{N}_{15}$ であった。この $\text{TaSiON}$ 膜の波長 $260\text{ nm}$ の光における屈折率は $2.09$ 、消衰係数は $0.24$ であり、また波長 $190\text{ nm}$ の光における屈折率は $2.00$ 、消衰係数は $0.59$ である。又、 $\text{TaSiON}$ はアモルファス構造であった。 $\text{TaSiON}$ 表面の表面粗さは $0.4\text{ nmRms}$ であった。

次に、以上の様にして作製したマスクブランクを用い、これに所定のマスクパターンを形成した。ここではデザインルールが $0.07\text{ }\mu\text{m}$ の $16\text{ Gbit-D}$ RAM用のパターンを有するEUVマスクを作製した。マスクパターンの形成は次のようにして行った。まずマスクブランクの表面に電子線レジスト材料をスピナー等で一様に塗布し、プリベーク後、電子線描画及び現像を行って、レジストパターンを形成した。次いで、塩素ガスを用いたドライエッチングを行い、エッチング終了後にレジストパターンを取り除いた。こうして、バッファ層13より上の露光光吸収層14及び低反射率層15にマスクパターンが形成された。

その形成されたマスクパターンを波長 $257\text{ nm}$ の光を使用するマスク検査機によって検査した結果、ピンホール欠陥（白欠陥）とエッチング不足欠陥（黒欠陥）が確認された。

次に、この検査結果に基づいてパターン欠陥を修復した。すなわち、上記の白欠陥については集束イオンビーム（Focused Ion Beam, FIB）アシストデポジション法により炭素膜をピンホールに堆積させ、また黒欠陥についてはFIB励起のガスアシストエッチングにより残留部分を除去したが、このときの照射によるエ

エネルギーによってバッファ層 13 の表面には膜構造の変化による光学特性の変化したダメージ部分が存在した（前述の図 8 の（b）、（c）参照）。

次に、露光光吸収層 14 及び低反射率層 15 のパターンのない部分に露出したバッファ層 13 をエッチングにより除去した（前述の図 8 の（d）参照）。この際、吸収体のパターンには損傷を与えずに該パターンがエッチングマスクとなるように、フッ素系ガスで  $\text{SiO}_2$  バッファ層のみをドライエッチングした。こうして本実施例の反射型マスクを作製した。

このマスクに EUV 光を照射すると、反射層 12 表面のパターン部分でのみ EUV 光が反射されることにより反射型マスクとしての機能を果たしている。

なお、これと比較のために、図 1 に示した従来プロセスにより、本実施例の最上層の低反射率層 15 を設けていない露光光吸収層（EUV 光吸収層）単層の試料を作製した。このときの単層の露光光吸収層（EUV 光吸収層）の膜厚は、本実施例による露光光吸収層（EUV 光吸収層）と検査光の低反射率層の二層の合計膜厚と同じ値である 70 nm として成膜した。

このときの 190 nm から 690 nm までの波長の光に対するマスクの吸収体パターン表面での反射率の値を図 10 に示した。図中、二層は本実施例マスクの二層吸収層表面の反射率、単層は従来マスクの単層露光光吸収層（EUV 光吸収層）表面の反射率である。また図中の ML は EUV 光の反射層である。本実施例マスクの場合、反射率の低い波長領域が比較的広いことがわかる。

この結果より、パターン検査光波長 257 nm とした場合、この波長における本実施例マスクの低反射率層表面の反射率は 5.2 % であり、同じくこの波長におけるバッファ層（ $\text{SiO}_2$ ）の反射率が 42.1 % であったため、この波長における低反射率層表面とバッファ層表面とのコントラストは、これらの反射率の比で示すと、1 : 8.1 であり、前記の定義式であらわすコントラスト値は 78 % であった。又、低反射膜と多層膜との反射率の比は 1 : 11.5 であり、コントラスト値は 84 % であった。

これに対し、上記波長における従来マスクの吸収層表面の反射率は 43.4 % であり、この波長における吸収層表面とバッファ層表面とのコントラストは、これらの反射率の比で示すと、1 : 0.97 であり、コントラスト値は 1.5 % で

あった。又、低反射膜と多層膜との反射率の比は1 : 1.4であり、コントラスト値は16%と低かった。

また、本実施例マスクでは、吸収体層16上層の低反射率層表面及びEUV光の反射層表面における波長13.4nmのEUV光に対する反射率は、それぞれ0.6%及び62.4%であったため、EUV光に対する吸収体層16表面と反射層表面とのコントラストは反射率の比で表すと、1 : 10.4であり、コントラスト値は98%であった。同様にして従来マスクのEUV光に対する単層吸収層表面と反射層表面とのコントラストは1 : 10.5であり、コントラスト値は98%であった。

次に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付き半導体基板（シリコンウエハ）にEUV光によってパターンを転写する方法を説明する。図9はパターン転写装置の概略構成を示すもので、パターン転写装置50は、レーザープラズマX線源32、反射型マスク2、縮小光学系33等から概略構成される。縮小光学系33はX線反射ミラーを用いており、反射型マスク2で反射されたパターンは通常1/4程度に縮小される。なお、露光波長として13~14nmの波長帯を使用するので、光路が真空中になるように予め設定した。

このような状態で、レーザープラズマX線源32から得られたEUV光を反射型マスク2に入射し、ここで反射された光を縮小光学系33を通してシリコンウエハ34上に転写した。反射型マスク2に入射した光は、吸収体パターンのある部分では吸収体（基板11上の反射層上に選択的に形成されている）に吸収されて反射されず、このような吸収体パターンのない部分に入射した光は、EUV光の反射層（基板11上に形成されている）により反射される。このようにして、反射型マスク2から反射される光により形成される像が縮小光学系33に入射する。縮小光学系33を経由した露光光は、シリコンウエハ34上のレジスト層に転写パターンを露光する。そして、露光済レジスト層を現像することによってシリコンウエハ34上にレジストパターンを形成した。

以上のようにして半導体基板上へのパターン転写を行った結果、本実施例の反射型マスクの精度は70nmデザインルールの要求精度である16nm以下であることが確認できた。

以上の結果から、本実施例のマスクは、EUV光に対する高コントラストが得られ、なお且つパターン検査波長に対しても高コントラストが得られるので、パターン検査が正確且つ迅速に行える。これに対し、従来のマスクは、EUV光に対しては高コントラストが得られるものの、パターン検査波長に対してはコントラストが非常に悪く、正確なパターン検査が困難である。

なお、本実施例における検査光の低反射率層15としてMoSiON薄膜を成膜した以外は本実施例とまったく同様にしてマスクを作製した場合にも、本実施例と同様に検査波長およびEUV光のいずれに対しても高いコントラストが得られた。

#### 実施例1-2

実施例1-1と同様にして、基板11上にEUV光の反射層12としてモリブデン(Mo)とシリコン(Si)の積層膜Mo/Siを成膜し、その上に、バッファ層13としてSiO<sub>2</sub>薄膜を膜厚50nmに成膜した。

その上に、露光光吸収層(EUV光の吸収体からなる)14として、タンタル(Ta)薄膜を膜厚50nmに形成した。これはTaターゲットを用い、アルゴンガスによるDCマグネトロン反応性スパッタ法により成膜した。

さらにその上に、波長257nmの検査光に対する低反射率層15として、TaO薄膜を膜厚10nmに成膜した。これは、下層のTa形成と同一の成膜室内で同一のTaターゲットを用い、アルゴン及び酸素の混合ガスによるDCマグネトロン反応性スパッタ法により成膜した。この膜組成は、Ta<sub>38</sub>O<sub>62</sub>であった。このTaO膜の波長260nmの光における屈折率は2.68、消衰係数は0.18であり、また波長190nmの光における屈折率は2.04、消衰係数は0.87である。又、TaO膜表面の表面粗さは0.7nmRmsであった。

なお、本実施例のようにEUV光吸収体層と同じ金属の酸化物を検査光の低反射率層とする場合においては、EUV光吸収体層の表面を酸素ガスを含むプロセスガスを用いた酸化処理、または酸溶液による酸化処理により形成しても良い。

以上のようにして作製したマスクブランクを用いて実施例1-1と同様にデザインルールが0.07μmの16Gbit-DRAM用のパターンを有するEUVマスクを作製した。

また比較のために、本実施例の最上層の低反射率層 15 のない EUV 光吸収層単層の試料を作製した。このときの単層の EUV 光吸収層の膜厚は、本実施例による露光光吸収層（EUV 光吸収層）と低反射率層の二層の合計膜厚と同じ値である 60 nm として成膜した。

このときの 190 nm から 690 nm までの波長の光に対するマスクの吸収体パターン表面での反射率の値を図 11 に示した。本実施例の場合、前記実施例 1-1 の低反射率層と比べて、反射率の極小値を示す波長領域が極めて狭いことがわかる。

この結果より、パターン検査光波長 257 nm とした場合、この波長における本実施例マスクの低反射率層表面の反射率は 4.0 % であり、同じくこの波長におけるバッファ層（SiO<sub>2</sub>）の反射率が 42.1 % であったため、この波長における低反射率層表面とバッファ層表面とのコントラストは、これらの反射率の比で示すと、1 : 10 であり、コントラスト値は 83 % であった。又、低反射率層と多層膜表面の反射率の比は 1 : 15 であり、コントラスト値は 88 % であった。

これに対し、上記波長における従来マスクの吸収層表面の反射率は 44 % であり、この波長における吸収層表面とバッファ層表面とのコントラストは、これらの反射率の比で示すと、1 : 0.96 であり、コントラスト値は 2.2 % であった。吸収体表面と多層膜表面の反射率の比は 1 : 1.4 であり、コントラスト値は 15 % と低かった。

また、本実施例マスクでは、吸収体層 16 上層の低反射率層表面及び EUV 光の反射層表面における波長 13.4 nm の EUV 光に対する反射率は、それぞれ 0.5 % 及び 62.4 % であったため、EUV 光に対する吸収体層 16 表面と反射層表面とのコントラストは反射率の比で表すと、1 : 125 であり、コントラスト値は 98 % であった。同様にして従来マスクの EUV 光に対する単層吸収層表面と反射層表面とのコントラストは 1 : 105 であり、コントラスト値は 98 % であった。

さらに、本実施例の反射型マスクを用い、実施例 1-1 と同様の方法で図 9 に示す半導体基板への露光転写を行った結果、十分な露光特性を有していることを



確認した。すなわち、本実施例のEUV反射型マスクの精度は70nmデザインルール of 要求精度である16nm以下であることが確認できた。

以上の結果から、本実施例のマスクは、EUV光に対する高コントラストが得られ、なお且つパターン検査波長に対しても高コントラストが得られる。これに対し、従来のマスクは、EUV光に対しては高コントラストが得られるものの、パターン検査波長に対してはコントラストが非常に悪い。

### 実施例1-3

実施例1-1と同様の基板11上にEUV光の反射層12としてモリブデン(Mo)とシリコン(Si)の積層膜Mo/Siを成膜し、その上に、バッファ層13としてCr薄膜をDCマグネトロンスパッタ法により膜厚50nmに成膜した。Cr薄膜表面の表面粗さは、0.5nmRmsであった。

その上に、前述の実施例1-2と同様に、露光光吸収層(EUV光の吸収体からなる)14として、タンタル(Ta)薄膜を形成し、さらにその上に、波長257nmの検査光の低反射率層15として、TaO薄膜を成膜した。ただし、本実施例では、上記タンタル膜は膜厚を40nmとした。TaO膜表面の表面粗さは、0.7nmRmsであった。

以上のようにして作製したマスクブランクを用いて実施例1-1と同様にデザインルールが0.07μmの16Gbit-DRAM用のパターンを有するEUV反射型マスクを作製した。

また比較のために、本実施例の最上層の検査光の低反射率層15のないEUV光吸収層単層の試料を作製した。このときの単層のEUV光吸収層の膜厚は、本実施例による露光光吸収層(EUV光吸収層)と検査光の低反射率層の二層の合計膜厚と等しい50nmとして成膜した。

このときの190nmから690nmまでの波長の光に対するマスクの吸収体パターン表面での反射率の値を図12に示した。

この結果より、パターン検査光波長257nmとした場合、この波長における本実施例マスクの低反射率層表面の反射率は4.0%であり、同じくこの波長におけるバッファ層(Cr)の反射率が57.0%であったため、この波長における低反射率層表面とバッファ層表面とのコントラストは、これらの反射率の比で

示すと、1 : 1.4であり、コントラスト値は87%であった。又、低反射率層表面と多層膜表面での反射率の比は1 : 1.5であり、コントラスト値は88%であった。

これに対し、上記波長における従来マスクの吸収層表面の反射率は44%であり、この波長における吸収層表面とバッファ層表面とのコントラストは、これらの反射率の比で示すと、1 : 1.3であり、コントラスト値は13%であった。低反射率層と多層膜の表面の反射率の比は1 : 1.4であり、コントラスト値は15%と低かった。

また、本実施例マスクでは、吸収体層16上層の低反射率層表面及びEUV光反射層表面における波長13.4nmのEUV光に対する反射率は、それぞれ0.5%及び62.4%であったため、EUV光に対する吸収体層16表面とEUV光反射層表面とのコントラストは反射率の比で表すと、1 : 12.5であり、コントラスト値は98%であった。同様にして従来マスクのEUV光に対する単層吸収層表面と反射層表面とのコントラストは1 : 10.5であり、コントラスト値は98%であった。

さらに、本実施例の反射型マスクを用い、実施例1-1と同様の方法で図9に示す半導体基板への露光転写を行った結果、十分な露光特性を有していることを確認した。すなわち、本実施例のEUV反射型マスクの精度は70nmデザインルール of 要求精度である16nm以下であることが確認できた。

以上の結果から、本実施例のマスクは、EUV光に対する高コントラストが得られ、なお且つパターン検査波長に対しても高コントラストが得られる。また、本実施例のマスクは、バッファ層としてCr膜を使用することによりバッファ層にEUV光の吸収層としての機能をも持たせているため、コントラストを劣化させずに上層の露光光吸収層（EUV光吸収層）の厚さをより薄くすることが可能である。これに対し、従来 of マスクは、EUV光に対しては高コントラストが得られるものの、パターン検査波長に対してはコントラストが非常に悪い。

#### 実施例1-4

実施例1-1と同様にして、基板11上にEUV光の反射層12を成膜した。この反射層12上にバッファ層13として窒化クロム膜を50nmの厚さに成膜

した。この窒化クロム膜はDCマグネトロンスパッタ法によって形成し、成膜にはCrターゲットを用い、スパッタガスとしてArに窒素を10%添加したガスを用いた。

成膜された窒化クロム膜は、 $\text{Cr}_{1-x}\text{N}_x$ においてXは0.1とした。また、この窒化クロム膜の膜応力は100nm換算で+40MPaであった。また、この窒化クロム膜の波長257nmの光に対する反射率は52%である。CrN膜表面の表面粗さは、0.27nmRmsであった。

次に、窒化クロム膜により構成されるバッファ層13の上に、露光光吸収層(EUV光の吸収体からなる)としてタンタルホウ素合金の窒化物(TaBN)膜を50nmの厚さに形成した。このTaBN膜は、Ta及びBを含むターゲットを用いて、Arに窒素を10%添加して、DCマグネトロンスパッタ法によって形成した。このTaBN膜の組成比は、Taは0.8、Bは0.1、Nは0.1とした。TaBN膜の結晶状態はアモルファスであった。

このTaBN吸収体層の上にさらに低反射率層15として、タンタルホウ素合金の窒化物(TaBN)膜を15nmの厚さに形成した。低反射率層としてのTaBN膜は、DCマグネトロンスパッタ法によって、Ta及びBを含むターゲットを用いて、Arに窒素を40%添加して成膜した。この時、下層のTaBN膜と同一の成膜室内で同一のターゲットを用い下層の形成と上層の形成を窒素ガスの量を変えて連続的に行った。ここで成膜された低反射率層としてのTaBN膜の組成比は、上記露光光吸収層(EUV光吸収層)のTaBN膜と比較して窒素の割合を多くし、Taは0.5、Bは0.1、Nは0.4とした。このTaBN膜もアモルファスであった。

このTaBN膜の波長257nmの光における屈折率は2.3、消衰係数は1.0である。また、波長13.4nmのEUV光に対する吸収係数は0.036である。又、表面粗さは0.25nmRmsであり、非常に平滑であった。

このようにして得られた低反射率層上での波長257nmの光に対する反射率は18%であった。また、露光光吸収層(EUV光吸収層)と低反射率層の全応力は100nm換算で-50MPaであった。

以上のようにして本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、この作製したマスクブランクを用いて実施例 1-1 と同様にデザインルールが  $0.07\mu\text{m}$  の 16 G b i t - D R A M 用のパターンを有する E U V 反射型マスクを作製した。

まず実施例 1-1 と同様の方法で低反射率層及び露光光吸収層（E U V 光吸収層）に吸収体パターンを形成した。ここで、波長  $257\text{nm}$  の光を検査光として吸収体パターンの検査を行った。検査光に対するバッファ層の反射率と低反射率層上の反射率との比は  $1:0.35$  であり、コントラスト値は  $48\%$  であり、検査において十分なコントラストが得られた。

次いで、窒化クロムからなるバッファ層を吸収体パターンに従ってドライエッチングにより除去した。ドライエッチングには塩素と酸素の混合ガスを用いた。

以上のようにして本実施例の反射型マスクを得た。得られた反射型マスクに対し、波長  $257\text{nm}$  の検査光を用いて再度吸収体パターンの確認検査を行ったところ、検査光に対する E U V 反射層の反射率と低反射率層上の反射率との比は  $1:0.3$  であり、コントラスト値は  $50\%$  であり、確認検査においても十分なコントラストが得られた。また、得られた反射型マスクに対し、波長  $13.4\text{nm}$ 、入射角  $5$  度の E U V 光により反射率を測定したところ、 $65\%$  と良好な反射特性を有していた。

さらに、本実施例の反射型マスクを用い、実施例 1-1 と同様の方法で図 9 に示す半導体基板への露光転写を行った結果、十分な露光特性を有していることを確認した。すなわち、本実施例の E U V 反射型マスクの精度は  $70\text{nm}$  デザインルールの要求精度である  $16\text{nm}$  以下であることが確認できた。

#### 実施例 1-5

本実施例は、低反射率層としてタンタルホウ素合金の酸窒化物（T a B N O）膜を使用した点が実施例 1-4 との相違点である。実施例 1-4 と同様に、基板 11 上に E U V 光の反射層 12、バッファ層 13 及び露光光吸収層（E U V 光の吸収体からなる）14 を成膜した。

次に、露光光吸収層（E U V 光の吸収体からなる）14 の上に低反射率層 15 として、タンタルホウ素合金の酸窒化物（T a B N O）膜を  $15\text{nm}$  の厚さに形成した。この T a B N O 膜は、D C マグネトロンスパッタ法によって、T a 及び

Bを含むターゲットを用いて、Arに窒素を10%と酸素を20%添加して成膜した。ここで成膜された低反射率層のTaBNO膜の組成比は、Taは0.4、Bは0.1、Nは0.1、Oは0.4とした。TaBNO低反射率層の表面粗さは、0.25nmRmsであり、非常に平滑であった。TaBNO膜の結晶状態はアモルファスであった。

このTaBNO膜の波長257nmの光における屈折率は2.4、消衰係数は0.5である。また、波長13.4nmのEUV光に対する吸収係数は0.036である。下層のTaBN層と上層のTaBNO層の形成は、同一成膜室内でガスの種類を変え、同一のターゲットを用いて連続的に行った。

このようにして得られた低反射率層上での波長257nmの光に対する反射率は10%であった。また、EUV光吸収体層と低反射率層の全応力は100nm換算で-50MPaであった。

以上のようにして本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、この作製したマスクブランクを用いて実施例1-1と同様にデザインルールが0.07 $\mu$ mの16Gb i t-DRAM用のパターンを有するEUV反射型マスクを作製した。

まず実施例1-1と同様の方法で低反射率層及び露光光吸収層（EUV光吸収層）に吸収体パターンを形成した。ここで、波長257nmの光を検査光として吸収体パターンの検査を行った。検査光に対するバッファ層の反射率と低反射率層上の反射率との比は1:0.19であり、コントラスト値は68%であり、検査において十分なコントラストが得られた。

次いで、実施例1-4と同様に、窒化クロムからなるバッファ層を吸収体パターンに従ってドライエッチングにより除去した。

以上のようにして本実施例の反射型マスクを得た。得られた反射型マスクに対し、波長257nmの検査光を用いて再度吸収体パターンの確認検査を行ったところ、検査光に対するEUV反射層の反射率と低反射率層上の反射率との比は1:0.17であり、コントラスト値は71%であり、確認検査においても十分なコントラストが得られた。また、得られた反射型マスクに対し、波長13.4nm、入射角5度のEUV光により反射率を測定したところ、65%と良好な反

射特性を有していた。

さらに、本実施例の反射型マスクを用い、実施例1-1と同様の方法で図9に示す半導体基板への露光転写を行った結果、十分な露光特性を有していることを確認した。すなわち、本実施例のEUV反射型マスクの精度は70nmデザインルールの要求精度である16nm以下であることが確認できた。

#### 実施例1-6

本実施例は、低反射率層としてタンタルホウ素合金の酸化物(TaBO)膜を使用した点が実施例1-4との相違点である。実施例1-4と同様にして、基板11上にEUV光の反射層12、バッファ層13及び露光光吸収層14を成膜した。

次に、露光光吸収層14の上に低反射率層15として、タンタルホウ素合金の酸化物(TaBO)膜を12nmの厚さに形成した。このTaBO膜は、DCマグネトロンスパッタ法によって、Ta及びBを含むターゲットを用いて、Arに酸素を30%添加して成膜した。露光光吸収層(EUV光吸収層)形成と低反射率層形成の間はDCパワーを一旦停止させ、成膜に使用するガスを切りかえた。ここで成膜された低反射率層のTaBO膜の組成比は、Taは0.4、Bは0.1、Oは0.5とした。TaBO膜の結晶状態はアモルファスであった。

このTaBO膜の波長257nmの光における屈折率は2.5、消衰係数は0.3である。また、波長13.4nmのEUV光に対する吸収係数は0.035である。TaBO膜の表面粗さは、0.25nmRmsであり、非常に平滑であった。

このようにして得られた低反射率層上での波長257nmの光に対する反射率は5%であった。また、露光光吸収層(EUV光吸収層)と低反射率層の全応力は100nm換算で-50MPaであった。なお、吸収体層の下層と上層の成膜は、同一成膜室内で同一のターゲットを用いてガスを変えて連続的に行った。

以上のようにして本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、この作製したマスクブランクを用いて実施例1-1と同様にデザインルールが0.07μmの16Gbit-DRAM用のパターンを有するEUV反射型マスクを作製した。

まず実施例 1-1 と同様の方法で低反射率層及び吸収体層に吸収体パターンを形成した。ここで、波長 257 nm の光を検査光として吸収体パターンの検査を行った。検査光に対するバッファ層の反射率と低反射率層上の反射率との比は 1 : 0.10 であり、コントラスト値は 82% であり、検査において十分なコントラストが得られた。

次いで、実施例 1-4 と同様に、窒化クロムからなるバッファ層を吸収体パターンに従ってドライエッチングにより除去した。

以上のようにして本実施例の反射型マスクを得た。得られた反射型マスクに対し、波長 257 nm の検査光を用いて再度吸収体パターンの確認検査を行ったところ、検査光に対する EUV 反射層の反射率と低反射率層上の反射率との比は 1 : 0.08 であり、コントラスト値は 85% であり、確認検査においても十分なコントラストが得られた。また、得られた反射型マスクに対し、波長 13.4 nm、入射角 5 度の EUV 光により反射率を測定したところ、65% と良好な反射特性を有していた。

さらに、本実施例の反射型マスクを用い、実施例 1-1 と同様の方法で図 9 に示す半導体基板への露光転写を行った結果、十分な露光特性を有していることを確認した。すなわち、本実施例の EUV 反射型マスクの精度は 70 nm デザインルール of the 要求精度である 16 nm 以下であることが確認できた。

#### 実施例 1-7 (上層 MoSiN)

実施例 1-4 と同様に、ガラス基板上に、Mo/Si 反射多層膜及び、CrN バッファ層 50 nm 及び、TaBN 膜 50 nm からなる吸収体下層を形成した。

次に、上層の低反射率層として、Mo と Si と N からなる膜 (MoSiN) を 10 nm の厚さに形成した。成膜方法は、DC マグネトロンスパッタ法により、Si と Mo を含むターゲットを用い、アルゴンと窒素を含むガスを使用した。得られた MoSiN 膜の組成は、Mo : Si : N = 23 : 27 : 50 であり、結晶形は、アモルファスであった。

又、波長 260 nm の光における屈折率は、2.56、消衰係数は 0.97、波長 190 nm の光における屈折率は、2.39、消衰係数は 1.05 である。

又、MoSiN 膜表面における表面粗さは、0.25 nm Rms と非常に平滑

であった。

波長 257 nm の検査光に対する MoSiN 膜表面の反射率は、17% であった。

このようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、このマスクブランクを用いて、デザインルールが  $0.07\ \mu\text{m}$  の 16 Gb i t - D R A M 用のパターンを有する反射型マスクを作製した。

まず、実施例 1-1 と同様にして、低反射率層上に、レジストパターンを形成した。続いて、フッ素ガスを用いたドライエッチングにより、MoSiN 低反射率層をレジストパターンに沿ってパターン状に形成し、吸収体下層の TaBN 膜の一部を露出させた。

次に、露出した TaBN 膜を塩素ガスを用いたドライエッチングで、MoSiN 膜と同一のパターン状に形成し、CrN バッファ層の一部を露出させた。

ここで、実施例 1-1 と同様にして、波長 257 nm の検査光を用いて、吸収体パターンの検査を行った。

吸収体層表面と、バッファ層表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 3 であり、コントラスト値は、50% と、十分なコントラストが得られた。

実施例 1-1 と同様に、欠陥の修正を F I B を用いて行った後、露出した CrN バッファ層を塩素と酸素を用いたドライエッチングで吸収体と同一パターン状に除去した。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクが得られた。

この反射型マスクに対し、波長 257 nm の検査光を用いて、パターンの最終検査を行った。吸収体層表面と、多層反射膜表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 3.5 であり、コントラスト値は 56% と十分なコントラストが得られた。

実施例 1-1 と同様に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付半導体基板（シリコンウエハ）にパターンの転写を行った所、本実施例の反射型マスクの精度は、70 nm デザインルールの要求精度である 16 nm 以下である事が確認できた。

実施例 1-8（上層 MoSiON）



実施例1-4と同様に、ガラス基板上に、Mo/Si反射多層膜及び、CrNバッファ層50nm及び、TaBN膜50nmからなる吸収体下層を形成した。

次に、上層の低反射率層として、MoとSiとOとNからなる膜(MoSiON)を20nmの厚さに形成した。成膜方法は、DCマグネトロンスパッタ法により、SiとMoを含むターゲットを用い、アルゴンと窒素と酸素を含むガスを使用した。得られたMoSiON膜の組成は、Mo:Si:O:N=19:19:19:43であり、アモルファス構造であった。

又、波長260nmの光における屈折率は、2.01、消衰係数は0.46、波長190nmの光における屈折率は、1.91、消衰係数は0.52である。

又、MoSiON膜表面における表面粗さは、0.25nmRmsと非常に平滑であった。

波長257nmの検査光に対するMoSiON膜表面の反射率は、4.4%であった。

このようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、このマスクブランクを用いて、デザインルールが0.07 $\mu$ mの16Gb i t-DRAM用のパターンを有する反射型マスクを作製した。

まず、実施例1-1と同様にして、低反射率層上に、レジストパターンを形成した。続いて、フッ素ガスを用いたドライエッチングにより、MoSiON低反射率層をレジストパターンに沿ってパターン状に形成し、吸収体下層のTaBN膜の一部を露出させた。

次に、露出したTaBN膜を塩素ガスを用いたドライエッチングで、MoSiON膜と同一のパターン状に形成し、CrNバッファ層の一部を露出させた。

ここで、実施例1-1と同様にして、波長257nmの検査光を用いて、吸収体パターンの検査を行った。

吸収体層表面と、バッファ層表面での検査光に対する反射率の比は、1:12であり、コントラスト値は、84%と、良好なコントラストが得られた。

実施例1-1と同様に、欠陥の修正をFIBを用いて行った後、露出したCrNバッファ層を塩素と酸素を用いたドライエッチングで吸収体と同一パターン状に除去した。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクが得られた。

この反射型マスクに対し、波長 257 nm の検査光を用いて、パターンの最終検査を行った。吸収体層表面と、多層反射膜表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 14 であり、コントラスト値は 86 % と良好なコントラストが得られた。

又、実施例 1-1 と同様に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付半導体基板（シリコンウエハ）にパターンの転写を行った所、本実施例の反射型マスクの精度は、70 nm デザインルールの要求精度である 16 nm 以下である事が確認できた。

#### 実施例 1-9（上層 CrO）

実施例 1-4 と同様に、ガラス基板上に、Mo/Si 反射多層膜及び、CrN バッファ層 50 nm 及び、TaBN 膜 50 nm からなる吸収体下層を形成した。

次に、上層の低反射率層として、酸化クロム膜（CrO）を 20 nm の厚さに形成した。成膜方法は、DC マグネトロンスパッタ法により、Cr を含むターゲットを用い、アルゴンと酸素を含むガスを使用した。得られた CrO 膜の組成は、Cr : O = 46 : 54 であった。

又、波長 260 nm の光における屈折率は、2.37、消衰係数は 0.72、波長 190 nm の光における屈折率は、1.91、消衰係数は 1.13 である。

又、CrO 膜表面における表面粗さは、0.3 nm Rms であった。

波長 257 nm の検査光に対する CrO 膜表面の反射率は、14 % であった。

このようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、このマスクブランクを用いて、デザインルールが 0.07  $\mu$ m の 16 Gb i t -DRAM 用のパターンを有する反射型マスクを作製した。

まず、実施例 1-1 と同様にして、低反射率層上に、レジストパターンを形成した。続いて、塩素と酸素を用いたドライエッチングにより、CrO 低反射率層をレジストパターンに沿ってパターン状に形成し、吸収体下層の TaBN 膜の一部を露出させた。

次に、露出した TaBN 膜を塩素ガスを用いたドライエッチングで、CrO 膜と同一のパターン状に形成し、CrN バッファ層の一部を露出させた。

ここで、実施例 1-1 と同様にして、波長 257 nm の検査光を用いて、吸収

体パターンの検査を行った。

吸収体層表面と、バッファ層表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 3.7であり、コントラスト値は、58%と、十分なコントラストが得られた。

実施例1-1と同様に、欠陥の修正をFIBを用いて行った後、露出したCrNバッファ層を塩素と酸素を用いたドライエッチングで吸収体と同一パターン状に除去した。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクが得られた。

この反射型マスクに対し、波長257nmの検査光を用いて、パターンの最終検査を行った。吸収体層表面と、多層反射膜表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 4.3であり、コントラスト値は62%と良好なコントラストが得られた。

又、実施例1-1と同様に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付半導体基板（シリコンウエハ）にパターンの転写を行った所、本実施例の反射型マスクの精度は、70nmデザインルールの要求精度である16nm以下である事が確認できた。

#### 実施例1-10（上層SiON）

実施例1-4と同様に、ガラス基板上に、Mo/Si反射多層膜及び、CrNバッファ層50nm及び、TaBN膜50nmからなる吸収体下層を形成した。

次に、上層の低反射率層として、SiとOとNからなる膜（SiON）を22nmの厚さに形成した。成膜方法は、DCマグネトロンスパッタ法により、Siターゲットを用い、アルゴンと酸素と窒素を含むガスを使用した。得られたSiON膜の組成は、Si : O : N = 28 : 62 : 10であった。

又、波長260nmの光における屈折率は、1.74、消衰係数は0.0018、波長190nmの光における屈折率は、1.86、消衰係数は0.0465である。

又、SiON膜表面における表面粗さは、0.3nmRmsであった。

波長257nmの検査光に対するSiON膜表面の反射率は、5%であった。

このようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、このマスクブランクを用いて、デザインルールが0.07μmの16G

b i t - D R A M 用のパターンを有する反射型マスクを作製した。

まず、実施例 1-1 と同様にして、低反射率層上に、レジストパターンを形成した。続いて、フッ化物を含むガスを用いたドライエッチングにより、S i O N 低反射率層をレジストパターンに沿ってパターン状に形成し、吸収体下層の T a B N 膜の一部を露出させた。

次に、露出した T a B N 膜を塩素ガスを用いたドライエッチングで、S i O N 膜と同一のパターン状に形成し、C r N バッファ層の一部を露出させた。

ここで、実施例 1-1 と同様にして、波長 257 nm の検査光を用いて、吸収体パターンの検査を行った。

吸収体層表面と、バッファ層表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 10.4 であり、コントラスト値は、82% と、良好なコントラストが得られた。

実施例 1-1 と同様に、欠陥の修正を F I B を用いて行った後、露出した C r N バッファ層を塩素と酸素を用いたドライエッチングで吸収体と同一パターン状に除去した。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクが得られた。

この反射型マスクに対し、波長 257 nm の検査光を用いて、パターンの最終検査を行った。吸収体層表面と、多層反射膜表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 12 であり、コントラスト値は 85% と良好なコントラストが得られた。

又、実施例 1-1 と同様に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付半導体基板（シリコンウエハ）にパターンの転写を行った所、本実施例の反射型マスクの精度は、70 nm デザインルールの要求精度である 16 nm 以下である事が確認できた。

実施例 1-11（T a B N / T a B O 中間領域を有する）

実施例 1-4 と同様にして、基板上に M o / S i 周期積層膜からなる E U V 光の反射層、及び窒化クロム膜からなるバッファ層を形成した。

次に、吸収体層の下層として、タンタルホウ素合金の窒化物（T a B N）膜を形成した。

この T a B N 膜は、T a 及び B を含むターゲットを用いて、A r に窒素を 10% 添加したガスを用い、D C マグネトロンスパッタ法で形成した。

TaBN膜を約50nm形成したところで、DCを印加したまま、Ar+窒素ガスの供給を10秒の間に徐々に減らして停止すると同時に、排気を行わずに、この10秒間でArに酸素を30%まで添加して、同一成膜室内で、同一ターゲットによる成膜を続行した。酸素を導入後、約15nm成膜を行った。

形成された吸収体層表面の粗さは、0.25nmRmsであり、非常に平滑であった。

吸収体層の結晶構造はアモルファスであった。

又、X線光電子分光法(XPS)で、吸収体層の膜厚方向の窒素及び酸素組成を分析したところ、図13に示すようであり、上層と下層の間に、下層の組成から上層の組成に連続的に組成が変化する中間領域が形成されていることが分かった。この中間領域の厚さは、5nm程度であった。中間領域においては、バッファ層に近い下層側から、吸収体表面に近い上層側に向かい、徐々に窒素が減少すると共に、酸素の含有量が増大し、連続的に組成が変化していた又、バッファ層側の下層の組成は、Ta:B:N=0.5:0.1:0.4のTaBN膜であり、吸収体層の表面近傍の上層は、Ta:B:O=0.4:0.1:0.5のTaBO膜であった。

波長257nmの検査光に対するこの吸収体層表面の反射率は、5%であった。

又、上層のTaBO膜の波長257nmに対する屈折率は、2.5、消衰係数は0.3である。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、この反射型マスクブランクを用いて、デザインルールが0.07μmの16Gbitt-DRAM用のパターンを有する反射型マスクを作製した。

まず、実施例1-1と同様にして、低反射率層上に、レジストパターンを形成した。続いて、塩素を含むガスを用いたドライエッチングにより、吸収体層をレジストパターンに沿ってパターン状に形成した。吸収体層の上層、中間領域、及び下層を連続的にドライエッチングでパターンニングし、CrNバッファ層の一部を露出させた。

上層と、下層の間に連続的な組成変化を有する中間領域を有していたため、吸収体層は、断面形状に段差の無い連続的な良好な矩形形状にパターン形成できた。

ここで、実施例 1-1 と同様にして、波長 257 nm の検査光を用いて、吸収体パターンの検査を行った。

吸収体層表面と、バッファ層表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 10.4 であり、コントラスト値は、82%と、良好なコントラストが得られた。

実施例 1-1 と同様に、欠陥の修正を FIB を用いて行った後、露出した CrN バッファ層を塩素と酸素を用いたドライエッチングで吸収体と同一パターン状に除去した。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクが得られた。

この反射型マスクに対し、波長 257 nm の検査光を用いて、パターンの最終検査を行った。吸収体層表面と、多層反射膜表面での検査光に対する反射率の比は、1 : 12 であり、コントラスト値は 85%と良好なコントラストが得られた。

又、実施例 1-1 と同様に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付半導体基板（シリコンウエハ）にパターンの転写を行った所、本実施例の反射型マスクの精度は、70 nm デザインルールの要求精度である 16 nm 以下である事が確認できた。

以上説明した本発明の第 1 の実施形態をまとめると、以下のようである。

(1-1) 基板上に、順に、EUV 領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層、マスクパターン形成時に該反射層を保護するバッファ層、及び露光光を吸収する吸収体層を有し、この吸収体層は、EUV 領域を含む短波長域の露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の低反射率層を上層とした少なくとも二層構造とすることにより、形成される反射型マスク表面の吸収体層を、露光光を吸収する層とマスクパターン検査光波長に対する反射率の小さい層とにそれぞれ機能を分離することができ、これによって十分な露光光吸収機能を有し、かつ吸収体パターン表面での検査光波長に対する反射率を著しく低下させ、その結果、この最上層の吸収体パターン表面とこのパターンのない部分のバッファ層表面との検査光波長に対する反射率の差が大きくなり、パターン検査時のコントラストが十分得られるようになるため、従来の深紫外領域の光を検査光とするマスク検査機を使用してマスクパターンの正確かつ迅速な検査が可能になる。

(1-2) 上記吸収体層における下層の露光光吸収体として特定の物質を選択することにより、上記(1-1)における発明の効果がより一層発揮される。

(1-3) 上記吸収体層における上層の検査光の低反射率層として特定の物質を選択することにより、上記(1-1)における発明の効果がより一層発揮される。

(1-4) 本発明のマスクブランクを用いてマスクパターンを形成した反射型マスクも、上述の効果を奏するものである。

(1-5) 本発明のマスクブランクは、基板上に、EUV領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層を形成する工程と、マスクパターン形成時に該反射層を保護するバッファ層を該反射層上に形成する工程と、該バッファ層上にEUV領域を含む短波長域の露光光吸収層を形成し、その上にマスクパターンの検査に使用する検査光の低反射率層を形成することにより行うので、周知の成膜方法を適用でき、製造が容易で、安価なマスクブランクを提供できる。

(1-6) 吸収体の材質によって、バッファ層上にEUV領域を含む短波長域の露光光吸収層を形成した後、その吸収体層の表面を処理することによりマスクパターンの検査に使用する検査光の低反射率層を形成することが可能であるため、成膜条件の変更等に要する時間を短縮でき、材料種類の低減や成膜室数の低減ができ、作業の簡略化と作業時間の短縮を図れる。

(1-7) 露光光吸収層上に形成される低反射率層の膜厚と、検査光の波長に対する低反射率層上における反射率との関係を求め、検査光波長に対する低反射率層上における反射率が極小となるように低反射率層の膜厚をコントロールすることが可能になる。

(1-8) 本発明の反射型マスクは、マスクブランクにおける吸収体層をパターン状に形成することにより製造されるが、周知のパターニング手段を適用して容易に製造でき、安価な反射型マスクを提供できる。

(1-9) マスクブランクにおける吸収体層をパターン状に形成した後、さらにこの吸収体層が除去された部分のバッファ層を除去することにより、吸収体パターンのない部分は露光光反射層が露出するので、反射型マスクとして露光光の反射特性を高めることが出来る。

## [第2の実施の形態]

次に、本発明の第2の実施の形態を図面を参照しながら詳述する。

図14は本発明の第2の実施形態による反射型マスクブランク60を用いて反射型マスクを製造する工程を示す概略断面図である。

本発明の反射型マスクブランク60は、図14(a)に示すように、基板61上に順次、多層反射膜62、バッファ層63、及び吸収体層64の各層が形成された構造をしている。

まず、本発明の反射型マスクブランク60を形成する各層について説明する。

本発明の反射型マスクブランク60の吸収体層64は、露光光であるEUV光を吸収する機能を有する。

本発明の吸収体層64としては、タンタルとホウ素とを含み、さらに酸素及び窒素のうち少なくとも1つを含む材料を用いる。このような材料を用いることで、パターン検査波長に対する吸収体層64の反射率をバッファ層63の反射率よりも十分低くし、パターン検査時のコントラストを向上させることができる。具体的には、パターン検査波長に対する吸収体層64表面の反射率が20%以下、好ましくは10%以下となるように材料を選択するのが望ましい。

このような材料として、具体的には例えばタンタルホウ素合金の窒化物(TaBN)、タンタルホウ素合金の酸化物(TaBO)、タンタルホウ素合金の酸窒化物(TaBNO)等が挙げられる。

タンタルは、EUV光の吸収係数が大きく、また塩素で容易にドライエッチングが可能であり加工性に優れた吸収体層材料である。

タンタルホウ素合金(TaB)は、アモルファス化が容易であり、平滑性に優れた膜が得られるという利点を有する。また、TaB膜は、Ta金属と比較して、EUV光の吸収係数の低下も少なく抑えられる。さらに、膜応力の制御性にも優れているため、マスクパターンの寸法精度を高精度に形成できる吸収体層材料である。

このような材料であるTaBに更に窒素を加えることで、パターン検査波長に用いられる190nm~260nm程度の深紫外(Deep Ultra Violet、以下、DUVと称す)光に対する反射率を低下させることができる。



また、窒素を加えることで、膜の平滑性を向上させ、表面粗さを小さくする効果も得られる。

吸収体層表面の表面粗さが大きいと、吸収体パターンのエッジラフネスが大きくなり、パターンの寸法精度が悪くなる。パターンが微細になるに従いエッジラフネスの影響が顕著になるため、吸収体表面は平滑である事が要求される。

本発明の反射型マスク及び反射型マスクブランクにおいて、吸収体表面の好ましい表面粗さは、 $0.5\text{ nmRms}$ 以下、更に好ましくは、 $0.4\text{ nmRms}$ 以下、 $0.3\text{ nmRms}$ 以下であれば更に好ましい。

吸収体表面における表面粗さを小さくするために、吸収体層をアモルファス構造の膜とすることが有効である。又、バッファ層を有する場合には、バッファ層に平滑な膜を使用する事も考慮する必要がある。

また、TaBに更に酸素を加えることで、窒素の場合と同様、パターン検査波長に用いられるDUV光に対する反射率が低下する。窒素と比較して、酸素の方がDUV光に対する反射率の低下の効果は大きい。また、TaBに窒素と酸素を両方含むことにより、パターン検査波長における反射率が低下すると共に、膜の平滑性が向上するという効果が得られる。

次に、このような吸収体層4の材料であるタンタルホウ素合金の窒化物 (TaBN)、タンタルホウ素合金の酸化物 (TaBO)、及びタンタルホウ素合金の酸素窒化物 (TaBNO) について、好ましい組成比を説明する。なお、吸収体表面を平滑なものとするため、これらはアモルファス構造の膜であるのが好ましい。

#### (1) TaBNの場合

TaBNの場合、TaとBとNの組成は、Bは $5\sim 25\text{ at}\%$ であることが好ましく、TaとNの組成比 (Ta : N) は $8 : 1\sim 2 : 7$ の範囲であることが好ましい。Bの量を上記の範囲とすることでアモルファスの結晶状態を得るのに好ましい。また、Taに対しNの量が少ないと、検査光に対して十分な低反射率が得られない。逆にNの量が多いと、膜密度が下がり、EUV光の吸収係数が低下するとともに、耐酸性が低下する。

#### (2) TaBOの場合

TaBOの場合、アモルファスを得るのにBは $5\sim 25\text{ at}\%$ であることが好

ましい。また、TaとOの組成比(Ta : O)は7 : 2 ~ 1 : 2の範囲であることが好ましい。Oの量が少ないと、検査光に対して十分な低反射率が得られない。一方、Oの量が多いと、膜密度が下がり、EUV光の吸収係数が低下するとともに、絶縁性が増してチャージアップが起こりやすくなる。

### (3) TaBNOの場合

TaBNOの場合、Bの量はアモルファス結晶状態を得るのに5 ~ 25 at %であることが好ましい。また、TaとN及びOとの組成比(Ta : (N+O))は7 : 2 ~ 2 : 7の範囲であることが好ましい。NとOの量が少ないと、検査光に対して十分な低反射率が得られない。反対にNとOの量が多いと、膜密度が下がり、EUV光の吸収係数が低下するとともに、耐酸性が低下し、また絶縁性が増してチャージアップが起こりやすくなる。

以上のように、本発明の吸収体層64は、タンタルとホウ素とを含み、さらに酸素及び窒素のうち少なくとも1つを含む材料を用いるのが好ましいが、この他に更に例えば、Si、Ge、Ti等の元素を含んでもよい。

本発明の吸収体層64の膜構造は、前述したようにアモルファスであることが好ましい。結晶質の膜は、経時的な応力変化が生じやすく、また酸素を含むプラズマ処理により表面組成が変化するなどして、検査光に対する反射率が変化する。従って、マスク洗浄、大気、プラズマ環境中のいずれでも安定であるためには、吸収体層64は結晶質な部分を含まないアモルファス構造の膜であるのが好ましい。

本発明の吸収体層64は、露光光の波長に対し、吸収係数が0.025以上、更には0.030以上であるのが吸収体層の膜厚を小さくできる点で好ましい。なお、吸収体層4の膜厚は、露光光であるEUV光が十分に吸収できる厚みであれば良いが、通常30 ~ 100 nm程度である。

また、本発明の吸収体層64は、マグネトロンスパッタリングなどのスパッタ法で形成することが出来る。例えば、タンタルとホウ素を含むターゲットを用い、酸素或いは窒素を添加したアルゴンガスを用いたスパッタリング法で成膜することができる。

なお、本発明の吸収体層64は、その厚さ方向に酸素又は窒素の含有量が所定

の分布を有していてもよい。本発明の場合、吸収体層 6 4 のバッファ層 3 側あるいは反射多層膜側から表面側に向かうに従い、酸素又は窒素が増大するように分布させることができる。例えば、直線的、曲線的、又は階段状のプロファイルで、吸収体層 6 4 内に分布する窒素又は酸素が、バッファ層 3 側から表面側に増大するようにすることができる。このような窒素又は酸素の分布は、吸収体層 4 の成膜中に添加される酸素ガス、又は窒素ガスの量を成膜中に変化させる事により、容易に形成が可能である。

また、吸収体層 6 4 の表面から所定の深さ（例えば検査光の反射に寄与する表面から厚さ 10 nm ～ 20 nm 程度）にのみに、窒素又は酸素が添加されるようにしても良い。このような吸収体層 6 4 中の窒素或いは酸素の分布は、上述した成膜中の添加ガスの量の調整によっても得られるが、Ta と B を含む吸収体層をまず形成しておき、その表面を窒化或いは酸化する事によっても得ることができる。この窒化や酸化は、吸収体層の表面へのイオン打ち込みや、プラズマ中に吸収体層表面を晒す事によって行うことができる。また、酸化は加熱処理によっても行うことができる。

一般に、窒素又は酸素の添加量が増えると、露光光である EUV 光の吸収率が低下する傾向にあるため、上記のように、検査光の反射に寄与する吸収体層 6 4 表面近傍の窒素或いは酸素の添加量を多くし、検査光の反射に寄与しないバッファ層 6 3 側の部分では、窒素或いは酸素の添加量が少なくなるように、吸収体層 6 4 の厚み方向に所望の分布を形成すれば、吸収体層 6 4 全体としての EUV 光の吸収率の低下が抑えられるという利点を有する。

次に、本発明の反射型マスクブランク 6 0 のバッファ層 6 3 は、吸収体層 6 4 にパターンを形成及びパターンを修正する際に、多層反射膜 2 を保護する機能を有する。

本発明の吸収体層 6 4 である Ta と B を含み、更に酸素及び窒素のうち少なくとも 1 つを含む材料と組み合わせるバッファ層 6 3 の材料としては、特にクロム (Cr) を含む材料が好ましく用いられる。

Cr を含む材料からなるバッファ層 6 3 は、Ta を含む本発明の吸収体層 6 4 とのエッチング選択比が 20 以上と、大きく取れる。また、Cr を含む材料は、

パターン検査波長における反射率が約40%～55%程度であり、後述する多層反射膜62表面、バッファ層63表面、及び吸収体層64表面の検査波長における反射率の関係（この順に反射率が小さくなるのが望ましい）からも好ましい。更には、Crを含む材料は、バッファ層63の除去時に多層反射膜62へのダメージをほとんど与えずに除去できる。

本発明のバッファ層63として用いられるCrを含む材料としては、Cr単体以外に、CrとN、O、Cから選択される少なくとも一つの元素を含む材料を好ましく用いることができる。例えば、窒化クロム（CrN）、酸化クロム（CrO）、炭化クロム（CrC）、酸化窒化クロム（CrNO）、炭化窒化酸化クロム（CrCNO）等が挙げられる。CrにNを加えることで、耐酸性が向上し、マスク洗浄液に対する耐久性の向上が図れ、また膜の平滑性が向上するとともに、膜応力が低減できる。また、CrにOを加えることで、成膜時における低応力制御性が向上する。また、CrにCを加えることにより、ドライエッチング耐性が向上する。

例えば、窒化クロム（CrN）の場合、クロムと窒素の好ましい組成比は、 $Cr_{1-x}N_x$ で表した場合、 $0.05 \leq x \leq 0.5$ である。更に好ましくは $0.05 \leq x \leq 0.2$ である。xが0.05よりも小さいと、耐酸性、膜応力、表面荒れの点で好ましくなく、xが0.5より大きいと、検査光に対する反射率が低下しすぎるため、吸収体層64表面とのコントラストを大きく取れなくなる。この $Cr_{1-x}N_x$ 膜は、更に、酸素、炭素などを5%程度の少量添加することができる。

このようなCrを含む材料から成るバッファ層63は、マグネトロンスパッタ法などのスパッタ法で形成することができる。例えば、上述した窒化クロム膜の場合、Crターゲットを用い、アルゴンに窒素を5～40%程度添加したガス雰囲気で成膜を行えばよい。

本発明のバッファ層63の膜厚は、集束イオンビーム（Focused Ion Beam, 以下FIBと称す）を用いた吸収体パターンの修正を行う場合にはバッファ層にダメージが生ずるので、そのダメージによって下層の多層反射膜2に影響を与えないように30～50nmとするのが好ましいが、FIBを用いない場合には、4～10nmと薄くすることができる。

その他に、本発明の吸収体層 6 4 と組み合わせて使用できるバッファ層の材料としては、 $\text{SiO}_2$ 、シリコンの酸化窒化物 ( $\text{SiON}$ )、 $\text{Ru}$  等が挙げられる。

なお、バッファ層は必要に応じて設ければ良く吸収体へのパターン形成修正の条件等によっては、反射多層膜上に直接吸収体層を設ける事もできる。

次に、本発明に係る反射型マスクブランク 6 0 の多層反射膜 6 2 について説明すると、該反射膜 6 2 は、屈折率の異なる元素が周期的に積層された多層膜が用いられる。一般的には、重元素又はその化合物の薄膜と、軽元素又はその化合物の薄膜とが交互に 4 0 周期程度積層された多層膜が用いられる。

例えば、波長 1 3 ~ 1 4 nm の EUV 光に対する多層反射膜としては、 $\text{Mo}$  と  $\text{Si}$  を交互に 4 0 周期程度積層した  $\text{Mo}/\text{Si}$  周期積層膜が好ましく用いられる。その他に、EUV 光の領域で使用される多層反射膜として、 $\text{Ru}/\text{Si}$  周期多層膜、 $\text{Mo}/\text{Be}$  周期多層膜、 $\text{Mo}$  化合物/ $\text{Si}$  化合物周期多層膜、 $\text{Si}/\text{Nb}$  周期多層膜、 $\text{Si}/\text{Mo}/\text{Ru}$  周期多層膜、 $\text{Si}/\text{Mo}/\text{Ru}/\text{Mo}$  周期多層膜、 $\text{Si}/\text{Ru}/\text{Mo}/\text{Ru}$  周期多層膜などがある。露光波長により、材質を適宜選択すればよい。

多層反射膜 6 2 は、DC マグネトロンスパッタ法や、イオンビームデポジション法などにより、各層を成膜することにより形成できる。上述した  $\text{Mo}/\text{Si}$  周期多層膜の場合、DC マグネトロンスパッタ法により、まず  $\text{Si}$  ターゲットを用いて  $\text{Ar}$  ガス雰囲気で厚さ数 nm 程度の  $\text{Si}$  膜を成膜し、その後  $\text{Mo}$  ターゲットを用いて  $\text{Ar}$  ガス雰囲気で厚さ数 nm 程度の  $\text{Mo}$  膜を成膜し、これを一周期として、3 0 ~ 6 0 周期積層した後、最後に  $\text{Si}$  膜を形成すればよい。

また、本発明に係る反射型マスクブランクの基板 6 1 としては、低熱膨張係数 ( $0 \pm 1.0 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  の範囲内、より好ましくは  $0 \pm 0.3 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$  の範囲内) を有し、平滑性及び平坦性並びにマスク洗浄液に対する耐性に優れたものが好ましく、低熱膨張性を有するガラス、例えば  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  系ガラス等が用いられる。その他には、 $\beta$  石英固溶体を析出した結晶化ガラスや、石英ガラス、シリコンや金属などの基板を用いることもできる。金属基板の例としては、インパー合金 ( $\text{Fe-Ni}$  系合金) などが挙げられる。

基板 6 1 は、0.2 nmRms 以下の平滑な表面と、100 nm 以下の平坦度

を有することが、高反射率及び高転写精度を得るために好ましい。また、基板 61 は、その上に形成される膜の膜応力による変形を防止するために、高い剛性を有しているものが好ましい。特に、65 GPa 以上の高いヤング率を有しているものが好ましい。

なお、本発明において平滑性を示す単位  $R_{ms}$  は、二乗平均平方根粗さであり、原子間力顕微鏡で測定することができる。また本発明に記載する平坦度は、TIR (Total Indicated Reading) で示される表面の反り(変形量)を表す値で、基板表面を基準として最小自乗法で定められる平面を焦平面とし、この焦平面より上にある基板表面の最も高い位置と、焦平面より下にある基板表面の最も低い位置との高低差の絶対値である。なお、本発明においては、平坦度は、140 mm×140 mm エリアでの測定値である。

本発明に係る反射型マスクブランク 60 は以上の如く構成されている。

次に、本発明の反射型マスクブランクを用いた反射型マスクの製造工程及びパターンの検査について説明する。

本発明の反射型マスクブランク 60 (図 14 (a) 参照) は、基板 61 上に順次、多層反射膜 62、パツファ層 63、及び吸収体層 64 の各層を形成することで得られ、各層の材料及び形成方法については上述した通りである。

次に、この反射型マスクブランク 60 の吸収体層 64 に吸収体パターンを形成する。まず、吸収体層 64 上に電子線用レジストを塗布し、ベーキングを行う。次に、電子線描画機を用いて描画し、これを現像して、レジストパターン 65 a を形成する。

形成されたレジストパターン 65 a をマスクとして、本発明の Ta 系の吸収体層 64 を塩素を用いてドライエッチングを行い、吸収体パターン 64 a を形成する(図 14 (b) 参照)。

次に、熱濃硫酸を用いて、吸収体パターン 64 a 上に残ったレジストパターン 65 a を除去して、マスク 66 (図 14 (c) 参照) を作製する。

ここで、吸収体パターン 64 a が設計通りに形成されているかどうかの検査(最初の検査)を行う。吸収体パターン 64 a の検査には、前述したように通常は波長 190 nm~260 nm 程度の DUV 光が用いられ、この検査光が吸収体パタ

ーン64aが形成されたマスク66上に入射される。ここでは、吸収体パターン64a上で反射される検査光と、吸収体層64が除去されて露出したバッファ層63で反射される検査光とを検出し、そのコントラストを観察することによって、検査を行う。

このようにして、除去されるべきでない吸収体層が除去されたピンホール欠陥（白欠陥）及び、エッチング不足により除去されずに残っている吸収体層（黒欠陥）を検出する。このようなピンホール欠陥や、エッチング不足による欠陥が検出された場合には、これを修正する。

ピンホール欠陥の修正には、FIBアシストデポジション法により炭素膜を堆積させるなどの方法で修復を行うことができる。また、エッチング不足による欠陥の修正には、FIB照射等による不要部分の除去を行うことができる。

こうしてパターン検査及び修正が終えた後、露出したバッファ層63を吸収体パターン64aに従って除去し、バッファ層にパターン63aを形成して、反射型マスク70を作製する（図14（d）参照）。ここで、窒化クロム等のクロムを含むバッファ層63の場合、塩素と酸素を含むガスでのドライエッチングを用いることができる。

最後に、形成されたパターンの最終確認検査（最終検査）を行う。この最終確認検査は、仕様通りの寸法精度で吸収体パターン64aが形成されているかどうかを最終的に確認を行うものである。この最終確認検査の場合も、前述の波長190nm～260nm程度のDUV光が用いられ、この検査光が吸収体層64及びバッファ層63がパターン状に形成された反射型マスク70に入射される。この場合、吸収体パターン64a上で反射される検査光と、バッファ層63が除去されて露出した多層反射膜62上で反射される検査光とを検出し、そのコントラストを観察することにより検査を行う。

以上の様に、反射型マスクの検査には、

（a）吸収体パターン形成後にパターンの欠陥を検出するための検査（最初の検査）

（b）マスクとしての最終仕様の確認の為の検査（最終検査）

の2種類があり、（a）及び（b）の検査を正確且つ迅速に行うためには、十分な

コントラストが得られることが必要になる。

つまり、(a)の検査では、吸収体層64表面とバッファ層63表面との反射コントラストが必要になり、(b)の検査では、吸収体層64表面と多層反射膜62表面との反射コントラストが必要になる。

なお、検査時のコントラスト値は次の式で定義される。

$$\text{コントラスト値 (\%)} = \{(R_2 - R_1) / (R_2 + R_1)\} \times 100$$

(ただし、 $R_1$ 、 $R_2$ は検査を行う各層における反射率で、 $R_2 > R_1$ )

一般に波長13nm付近のEUV光に対して多層反射膜62として用いられるSiとMoの周期積層膜の検査光(DUV光)に対する反射率は約60%程度であるので、多層反射膜62とのコントラストを考慮した場合、吸収体層64表面の検査光に対する反射率を下げた方が有利であるため、本発明では、吸収体層64表面の反射率を多層反射膜62上の反射率よりも低くなるように材料を選定するのが望ましい。

更には、多層反射膜2表面、バッファ層63表面、吸収体層64表面の順に、検査光に対する反射率が順次下がるように設計するのが好ましい。このようにすることで、上述した(a)及び(b)の検査のいずれにおいても、吸収体パターン64aのある部分が暗くなり、パターンコントラストが反転することがないので、検査機の設定を変える必要がなく、結果も分かりやすい。

このような観点から、吸収体層64表面の検査波長に対する反射率は20%以下、好ましくは10%以下とするのが望ましい。また、検査におけるコントラスト値(前記の定義式)は40%以上、好ましくは50%以上、更に好ましくは60%以上とするのがよい。ここでのコントラスト値は、吸収体層と反射多層膜のコントラスト、又は、吸収体層とバッファ層との間のコントラストである。

このような条件を満たす吸収体層64の材料選定に当たっては、EUV光の吸収特性を有する吸収体層64に用いる材料組成と、検査波長及び検査光に対する反射率との関係を予め求めておくことで最適化できる。例えば、特定の検査波長に対し、吸収体層64に用いる材料の組成と反射率との関係を求め、これに基づき、吸収体層4表面の反射率を所望の値に調整することが可能である。即ち、検査に使用する光の波長に対し所望の反射率が得られるようにTaBに加える窒素



或いは酸素の添加量を調整すればよい。

なお、上述したマスク製造工程でのバッファ層 6 3 の除去は、バッファ層 6 3 が薄く形成されており、反射率低下に影響が少ない場合には行わなくとも良い。この場合、反射型マスクとしては、多層反射膜 6 2 上全体をバッファ層 6 3 が覆っている状態で使用される。

以上のようにして、本発明では、EUV 光の吸収や加工性に優れたタンタルとホウ素を含む合金材料に、更に窒素又は酸素の少なくとも 1 つを添加した材料で吸収体層 4 を形成することにより、マスクパターンの検査時に、検査光に対する十分なコントラストを有する反射型マスクブランク及び反射型マスクが得られる。

なお、上述した何れの本発明に係る反射型マスク及び反射型マスクブランクも、EUV 光（波長 0.2～100 nm 程度）を露光光として用いた場合に特に好適であるが、他の波長の光に対しても適宜用いることができる。

#### [実施例]

以下、実施例により本発明を更に具体的に説明する。なお、説明の便宜上、図 1 4 における符号を適宜使用する。

##### 実施例 2-1

まず、図 1 4 (a) に示すような反射型マスクブランク 6 0 を作製した。使用する基板 6 1 は、 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  系のガラス基板（外形 6 インチ角、厚さが 6.3 mm）である。この基板 6 1 の熱膨張率は  $0.2 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ 、ヤング率は 67 GPa である。そして、このガラス基板は機械研磨により、0.2 nm Rms 以下の平滑な表面と 100 nm 以下の平坦度に形成した。

基板 6 1 上に形成される多層反射膜 6 2 は、13～14 nm の露光光波長帯域に適した多層反射膜を形成するために、本実施例では、Mo/Si 周期多層反射膜を採用した。すなわち、多層反射膜 6 2 は、Mo と Si を DC マグネトロンスパッタ法により基板 6 1 上に交互に積層して形成した。まず、Si ターゲットを用いて、Ar ガス圧 0.1 Pa で Si 膜を 4.2 nm 成膜し、その後 Mo ターゲットを用いて、Ar ガス圧 0.1 Pa で Mo 膜を 2.8 nm 成膜し、これを一周期として、40 周期積層した後、最後に Si 膜を 4 nm 成膜した。合計膜厚は 284 nm である。この多層反射膜 6 2 に対し、13.4 nm の光の入射角 2 度で

の反射率は65%であった。又、この多層膜62表面の表面粗さは0.12nm Rmsであった。波長257nmの検査光に対する多層反射膜表面の反射率は60%であった。

多層反射膜62上に形成されたバッファ層63は、窒化クロムから構成されている。膜厚は50nmである。この窒化クロムは、 $\text{Cr}_{1-x}\text{N}_x$ で表した場合、 $x=0.1$ である。このバッファ層63はCrターゲットを用いて、スパッタガスとしてArに窒素を10%添加したガスを用い、DCマグネトロンスパッタ法により形成した。形成されたバッファ層63の結晶状態は微結晶であることをX線回折法にて確認した。

このバッファ層63の有する応力は+40MPa、バッファ層63表面の257nmの光に対する反射率は52%である。又、バッファ層表面の表面粗さは、0.27nm Rmsであった。

バッファ層63上に形成される本実施例の吸収体層64は、タンタルホウ素合金の窒化物(TaBN)を膜厚50nmに形成した。この吸収体層64の材料は、257nmの検査光に対し所望の反射率を得るために、257nmの検査光に対する組成と反射率との関係を求め、組成は、Ta:B:Nは45:10:45とした。この吸収体層64は、DCマグネトロンスパッタ法により、TaとBを含む焼結体ターゲットを用い、Arに窒素を40%添加したガスを用いて成膜した。膜応力とターゲットへの投入パワーとの関係を予め求め、ターゲットへの投入パワーを制御する事により、吸収体層64の有する応力は、バッファ層63の応力と逆向きの応力である-50MPaとした。このような成膜条件によって成膜した吸収体層64の結晶状態はアモルファスであった。又、この吸収体層64表面における257nmの光に対する反射率は20%であり、波長13.4nmのEUV光に対する吸収係数は0.036である。又、吸収体層表面の表面粗さは、0.25nm Rmsであった。

以上のようにして、図14(a)に示すような本実施例の反射型マスクブランク60を得た。

次に、上述した反射型マスクブランク60から、前述の図14(d)に示す反射型マスク70を作製する方法を説明する。まず、上記反射型マスクブランク6

0の吸収体層64上に電子線照射用レジストを塗布し、電子線によりデザインルールが $0.07\mu\text{m}$ の16Gb i t-DRAM用のパターン描画を行ってから現像し、レジストパターン65aを形成した。

このレジストパターン65aをマスクとして、塩素を用いて吸収体層64をドライエッチングし、吸収体パターン64aを形成した（前述の図14（b）参照）

次に、吸収体パターン64a上に残ったレジストパターン65aを $100^{\circ}\text{C}$ の熱硫酸で除去し、マスク66を得た（前述の図14（c）参照）。

この状態で、吸収体パターン64aの検査を行った。すなわち、図15に示すように、吸収体パターン64aの検査は、波長 $257\text{nm}$ の検査光を用いて、これをマスク66の表面に入射させ、吸収体パターン64aで反射される検査光Aとバッファ層63表面で反射される検査光Bとのコントラストを観察することにより行った。

本実施例におけるバッファ層63表面と、吸収体パターン64a表面との検査光に対する反射率の比は $1:0.38$ であり、前記定義式によるコントラスト値は $44\%$ であり、検査において十分なコントラストが得られた。

次に、マスク66の反射領域上（吸収体パターン64aのない部分）に残存しているバッファ層63である窒化クロム層を吸収体パターン64aに従って除去し、バッファ層パターン63aを形成した（前述の図14（d）参照）。このバッファ層63の除去には、塩素と酸素の混合ガスによるドライエッチングを用いた。

以上のようにして、図14（d）に示す構造の反射型マスク70を得た。

こうしてバッファ層にパターン63aを形成した後、反射型マスク70の最終確認検査を行った。検査光には、波長 $257\text{nm}$ の光を用い、図16に示すように、これをマスク70表面に入射させ、吸収体パターン64aで反射される検査光Cと、多層反射膜62上で反射される検査光Dとのコントラストを観察した。バッファ層63が除去されて露出した多層反射膜62表面と、吸収体パターン64a表面との検査光に対する反射率の比は $1:0.33$ であり、コントラスト値は $50\%$ であり、最終確認検査においても十分なコントラストが得られた。

こうして反射型マスク70には、デザインルールが $0.07\mu\text{m}$ の16Gb i t-DRAM用のパターンを設計通り形成できている事が検査により確認できた。

次に、図 17 に示すパターン転写装置により、反射型マスク 70 を用いてレジスト付き半導体基板（シリコンウエハ）に EUV 光によってパターンを転写する方法を説明する。

反射型マスク 70 を搭載したパターン転写装置 50' は、レーザープラズマ X 線源 32'、反射型マスク 70、縮小光学系 33' 等から概略構成される。縮小光学系 33' は、X 線反射ミラーを用いている。縮小光学系 33' により、反射型マスク 70 で反射されたパターンは通常 1/4 程度に縮小される。尚、露光波長として 13~14 nm の波長帯を使用するので、光路が真空中になるように予め設定した。

このような状態で、レーザープラズマ X 線源 32' から得られた EUV 光を反射型マスク 70 に入射し、ここで反射された光を縮小光学系 33' を通してシリコンウエハ 34' 上に転写した。

反射型マスク 70 に入射した光は、吸収体パターン 64a のある部分では、吸収体層に吸収されて反射されず、一方、吸収体パターン 64a のない部分に入射した光は多層反射膜 62 により反射される。このようにして、反射型マスク 70 から反射される光により形成される像が縮小光学系 33' に入射する。縮小光学系 33' を経由した露光光は、シリコンウエハ 34' 上のレジスト層に転写パターンを露光する。そして、この露光済レジスト層を現像することによってシリコンウエハ 34' 上にレジストパターンを形成した。

以上のようにして半導体基板上へのパターン転写を行った結果、本実施例の反射型マスク 70 の精度は 70 nm デザインルールの要求精度である 16 nm 以下であることが確認できた。

## 実施例 2-2

本実施例では、吸収体層 64 の材料として、タンタルホウ素合金の酸窒化物 (TaBNO) を用いた点が、実施例 2-1 と異なる。

実施例 2-1 と同様にして、基板 61 上に多層反射膜 62 及び窒化クロムからなるバッファ層 63 を形成した。

次に、バッファ層 63 上に、吸収体層 64 として、タンタルホウ素合金の酸窒化物 (TaBNO) 膜を 50 nm の厚さに形成した。この吸収体層 64 の形成は、

タンタルとホウ素を含有するターゲットを用い、Arに窒素10%と酸素20%を添加した混合ガスを用いて、DCマグネトロンスパッタ法により行った。この時、スパッタ条件を制御する事で、吸収体層64の有する応力は-50MPaとした。

また、この吸収体層64の材料は、波長257nmの検査光に対するTaBNOの組成と反射率との関係から、所望の反射率が得られる組成を選択し、Ta:B:N:Oは55:10:10:25とした。このようにして成膜した吸収体層64の結晶状態はアモルファスであった。また、この吸収体層64表面における257nmの光に対する反射率は15%であり、波長13.4nmのEUV光に対する吸収係数は0.036である。又、吸収体層表面の表面粗さは、0.25nmRmsであった。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクブランク60を得た。

次に、実施例2-1と同様の方法で、本実施例の反射型マスクブランクから反射型マスクを製造した。

すなわち、吸収体層64に吸収体パターン64aを形成し、吸収体パターン64a上に残ったレジストパターン65aを除去した後、実施例2-1と同様に吸収体パターン64aの検査を行った。

本実施例におけるバッファ層63表面と、吸収体パターン64a表面との検査光に対する反射率の比は1:0.29であり、コントラスト値は55%であり、検査において十分なコントラストが得られた。

次に、実施例1-1と同様に、マスクの反射領域上（吸収体パターン64aのない部分）に残存しているバッファ層63である窒化クロム層を吸収体パターン64aに従って除去し、バッファ層パターン63aを形成した。こうしてバッファ層にパターン63aを形成した後、実施例2-1と同様に反射型マスク70の最終確認検査を行った。

バッファ層63が除去されて露出した多層反射膜62表面と、吸収体パターン64a表面との検査光に対する反射率の比は1:0.25であり、コントラスト値は60%であり、最終確認検査においても十分なコントラストが得られた。

以上のようにして、本実施例の反射型マスク70を得たが、本実施例の反射型

マスク 70においても、デザインルールが $0.07\mu\text{m}$ の16Gb i t-D R A M用のパターンを設計通り形成できている事が検査により確認できた。

また、本実施例の反射型マスク 70を用い、実施例 2-1と同様、図 17に示すパターン転写装置を使用して、シリコンウエハ上へのパターン転写を行ったところ、本実施例の反射型マスクの精度は $70\text{nm}$ デザインルールの要求精度である $16\text{nm}$ 以下であることが確認できた。

### 実施例 2-3

本実施例では、吸収体層 64の材料として、タンタルホウ素合金の酸化物 (T a B O) を用いた点が、実施例 2-1及び2-2と異なる。

実施例 2-1と同様に、基板 61上に多層反射膜 62及び窒化クロムからなるバッファ層 63を形成した。

次に、バッファ層 63上に、吸収体層 64として、タンタルホウ素合金の酸化物 (T a B O) 膜を $50\text{nm}$ の厚さに形成した。この吸収体層 64の形成は、タンタルとホウ素を含有するターゲットを用い、A r に酸素 25%を添加した混合ガスを用いて、DCマグネトロンスパッタ法により行った。この時、スパッタ条件を制御する事で、吸収体層 64の有する応力は $-50\text{MPa}$ とした。この吸収体層の材料は、波長 $257\text{nm}$ の検査光に対するT a B Oの組成と反射率との関係を求め、所望の反射率が得られるように、組成は、T a : B : Oは45 : 10 : 45とした。このようにして成膜した吸収体層 64の結晶状態はアモルファスであった。又、この吸収体層 64表面における $257\text{nm}$ の光に対する反射率は10%であり、波長 $13.4\text{nm}$ のEUV光に対する吸収係数は0.035である。又、吸収体層表面の表面粗さは、 $0.25\text{nmRms}$ であった。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクブランク 60を得た。

次に、実施例 2-1と同様の方法で、本実施例の反射型マスクブランクから反射型マスクを製造した。

すなわち、吸収体層 64に吸収体パターン 64aを形成し、吸収体パターン 64a上に残ったレジストパターン 65aを除去した後、実施例 1-1と同様に吸収体パターン 64aの検査を行った。

本実施例におけるバッファ層 63表面と、吸収体パターン 64a表面との検査

光に対する反射率の比は1 : 0.19であり、コントラスト値は68%であり、検査において十分なコントラストが得られた。

次に、実施例1-1と同様に、マスクの反射領域上（吸収体パターン64aのない部分）に残存しているバッファ層63である窒化クロム層を吸収体パターン64aに従って除去し、バッファ層パターン63aを形成した。バッファ層にパターン63aを形成した後、実施例1-1と同様にして反射型マスク70の最終確認検査を行った。

バッファ層63が除去されて露出した多層反射膜62表面と、吸収体パターン64a表面との検査光に対する反射率の比は1 : 0.17であり、コントラスト値は71%であり、最終確認検査においても十分なコントラストが得られた。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクを得たが、本実施例の反射型マスクには、デザインルールが0.07  $\mu\text{m}$ の16 G b i t - D R A M用のパターンを設計通り形成できている事が検査により確認できた。

また、本実施例の反射型マスクを用い、実施例1と同様、図17に示すパターン転写装置を使用して、シリコンウエハ上へのパターン転写を行ったところ、本実施例の反射型マスクの精度は70 nmデザインルールの要求精度である16 nm以下であることが確認できた。

#### 比較例1

本比較例では、吸収体層64の材料として、窒素や酸素を含まないタンタルホウ素合金（T a B）を用いた点が、前述の実施例2-1～2-3と異なる。

実施例1-1と同様に、基板61上に多層反射膜62及び窒化クロムからなるバッファ層63を形成した。

次に、バッファ層63上に、吸収体層64として、タンタルホウ素合金（T a B）膜を50 nmの厚さに形成した。この吸収体層の形成は、タンタルとホウ素を含有するターゲットを用い、A r ガスを用いて、D C マグネトロンスパッタ法により行った。この時、スパッタ条件を制御する事で、吸収体層の有する応力は-50 M P a とした。この吸収体層において、T a : B は4 : 1である。このようにして成膜した吸収体層の結晶状態はアモルファスであった。また、この吸収体層64表面における257 nmの光に対する反射率は40%であった。

以上のようにして、比較例の反射型マスクブランクを得た。

次に、実施例 2-1 と同様の方法で、比較例の反射型マスクブランクから反射型マスクを製造した。

まず、吸収体層 64 に吸収体パターン 64 a を形成し、吸収体パターン上に残ったレジストパターンを除去した後、実施例 1-1 と同様に吸収体パターンの検査を行った。

本比較例におけるバッファ層表面と吸収体パターン表面との検査光に対する反射率の比は 1 : 0.77 であり、コントラスト値は 13% であり、検査において十分なコントラストが得られなかった。

次に、実施例 2-1 と同様に、マスクの反射領域上（吸収体パターンのない部分）に残存しているバッファ層である窒化クロム層を吸収体パターン 64 a に従って除去し、バッファ層パターンを形成した。バッファ層 63 にパターンを形成した後、実施例 2-1 と同様にして反射型マスクの最終確認検査を行った。

バッファ層が除去されて露出した多層反射膜 62 表面と、吸収体パターン 64 a 表面との検査光に対する反射率の比は 1 : 0.67 であり、コントラスト値は 25% であり、最終確認検査において十分なコントラストが得られなかった。

本比較例の反射型マスクでは、このように十分なコントラストが得られなかった為、正確な検査が行えず、デザインルールが  $0.07\ \mu\text{m}$  の 16 G b i t - D R A M 用のパターンを設計通り形成できているかどうかの確認ができなかった。

実施例 2-4（バッファ層を有しない形態 TaBN）

実施例 2-1 と同様の方法で、ガラス基板上に、Mo/Si 周期多層反射膜を形成した。但し、最上層の Si 膜は、吸収体層へのパターン形成時における膜減りを考慮して、11 nm とした。

波長 257 nm の検査光に対する多層反射膜上の反射率は、60% であった。

波長 13.4 nm の EUV 光（入射角 2 度）での反射率は 64% であった。

次に、多層反射膜上に、吸収体層として、タンタルホウ素合金の窒化物（TaBN）を 100 nm の厚さに形成した。

TaBN 膜の組成は、波長 257 nm の検査光に対する反射率を考慮して、実施例と同様の Ta : B : N = 45 : 10 : 45 とした。



TaBN膜は、実施例2-1と同様のDCマグネトロンスパッタ法を用い形成した。但し、ターゲットへの投入パワーを調整した結果、得られたTaBN膜の応力は $-30\text{MPa}$ であった。又、結晶状態は、アモルファスであった。

このTaBN膜表面における $257\text{nm}$ の光に対する反射率は $20\%$ であった。又、表面粗さは、 $0.19\text{nmRms}$ であり、非常に平滑な表面となっていた。以上のようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

実施例2-1と同様にして、得られた反射型マスクブランクのTaBN吸収体層の一部を塩素ガスを用いてパターン状に除去して多層反射膜を露出させ、吸収体パターンを形成した。

この状態で、波長 $257\text{nm}$ の検査光を用いて吸収体パターンの検査を行った。吸収体パターン表面で反射される検査光と、多層反射膜表面で反射される検査光との比は、 $1:3$ であり、コントラスト値は、 $50\%$ と、十分なコントラストが得られた。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクのパターン検査を良好に行うことが出来た。

本発明の反射型マスクを用いて、実施例1と同様にして、レジスト付き半導体基板上にパターンを転写したところ、本実施例の反射型マスクの精度は、 $70\text{nm}$ デザインルールの要求精度である $16\text{nm}$ 以下であった。

実施例2-5（バッファ層を有しない形態 TaBO）

吸収体層の材料をタンタルホウ素合金の酸化物（TaBO）とした以外は、実施例4と同様にして、反射型マスクブランク及び、反射型マスクを製造した。

TaBO吸収体層の組成は、波長 $257\text{nm}$ の検査光に対する反射率を考慮して実施例3と同様の $\text{Ta}:\text{B}:\text{O}=45:10:45$ とし、 $100\text{nm}$ の厚さとした。

TaBO吸収体層の形成は、実施例3と同様のDCマグネトロンスパッタ法を用い形成した。但し、ターゲットへの投入パワーを調整した結果、得られたTaBO膜の応力は $-20\text{MPa}$ であった。又、結晶状態は、アモルファスであった。

このTaBO膜表面における $257\text{nm}$ の光に対する反射率は $10\%$ であった。又、表面粗さは、 $0.20\text{nmRms}$ であり、非常に平滑な表面となっていた。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

実施例 2-4 と同様に、得られた反射型マスクブランクの TaO 吸収体層の一部を塩素ガスを用いてパターン状に除去して多層反射膜を露出させ、吸収体パターンを形成した。

この状態で、波長 257 nm の検査光を用いて吸収体パターンの検査を行った。吸収体パターン表面で反射される検査光と、多層反射膜表面で反射される検査光との比は、1 : 6 であり、コントラスト値は、71 % と、十分なコントラストが得られた。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクのパターン検査を良好に行うことが出来た。

本発明の反射型マスクを用いて、実施例 1 と同様に、レジスト付き半導体基板上にパターンを転写したところ、本実施例の反射型マスクの精度は、70 nm デザインルール of the 要求精度である 16 nm 以下であった。

比較例 2 (SiO<sub>2</sub> バッファ層 + TaO 単層の場合)

実施例 2-1 と同様に、ガラス基板上に、Mo/Si 多層反射膜を形成した。

次に、多層反射膜上に、バッファ層として、SiO<sub>2</sub> 膜を 50 nm の厚さに形成した。

SiO<sub>2</sub> 膜は、DC マグネトロンスパッタ法により、Si ターゲットを用い、アルゴンと酸素の混合ガスを用いて成膜した。

波長 257 nm の検査光に対する SiO<sub>2</sub> バッファ層表面の反射率は、42 % であった。

又、表面粗さは 0.5 nm Rm s であり、実施例の CrN 膜よりも大きかった。

更に、SiO<sub>2</sub> バッファ層上に、タンタルの酸化物 (TaO) 吸収体層を 70 nm の厚さに形成した。

形成方法は、DC マグネトロンスパッタ法を用い、Ta を含有するターゲットを用い、Ar に酸素を添加した混合ガスを用いた。

形成された TaO 膜の組成は、Ta : O = (60 : 40) であり、結晶質の膜であった。

得られたTaO膜表面の、波長257nmの検査光に対する反射率は、12%と低かったが、表面粗さは、TaOが結晶質の膜であったため、0.8nmRmsと本発明の実施例と比較してかなり大きくなった。

波長257nmの検査光に対する吸収体層表面と、バッファ層の反射率の比は、1:3.5であり、コントラスト値は56%であった。又、吸収体層表面と反射多層膜表面の反射率の比は、1:5であり、コントラスト値は67%であり、検査においては、必要なコントラストが得られた。

しかしながら、本比較例の反射型マスクを用いて、実施例2-1と同様にして、レジスト付き半導体基板上にパターンを転写したところ、本比較例の反射型マスクにおいては、吸収体表面の表面粗さが大きいことに由来して、パターンのエッジラフネスが大きく、70nmデザインルール of 要求精度である16nmを満たすことができなかった。

#### 実施例2-6

組成が表面に向かって変化している様態 (TaBNO)

実施例2-1と同様の方法で、ガラス基板上に、Mo/Si周期多層反射膜及びCrNバッファ層を形成した。

次に、CrNバッファ層上に、吸収体層として、タンタルホウ素合金の酸化物 (TaBO) を50nmの厚さに形成した。TaBO膜は、DCマグネトロンスパッタ法を用い形成した。TaとBを含むターゲットを用い、Arと酸素の混合ガスを用いた。但し、成膜の時間と共に、酸素の導入量を0%から25%までほぼ直線的に増大させるようにした。

得られたTaBO膜の応力は-50MPaであった。又、結晶状態は、アモルファスであった。

X線光電子分光法 (XPS) の方法で確認したところ、得られたTaBO膜は、膜厚方向に、バッファ層側から吸収体表面に向かって酸素の含有量が増大する組成分布を有していた。

又、TaBO膜の最表面の組成は、ほぼTa:B:O=45:10:45であった。

このTaBO膜表面における257nmの光に対する反射率は12%であった。

又、表面粗さは、 $0.24\text{ nmRms}$ であり、非常に平滑な表面となっていた。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクブランクを得た。

次に、このマスクブランクを用いて、デザインルールが $0.07\text{ }\mu\text{m}$ の $16\text{ Gbit-DRAM}$ 用のパターンを有する反射型マスクを作製した。

まず、実施例2-1と同様にして、吸収体層上に、レジストパターンを形成した。続いて、塩素ガスを用いたドライエッチングにより、 $\text{TaBO}$ 吸収体層をレジストパターンに沿ってパターン状に形成し、 $\text{CrN}$ バッファ層の一部を露出させた。

ここで、波長 $257\text{ nm}$ の検査光を用いて、吸収体パターンの検査を行った。

吸収体層表面と、バッファ層表面での検査光に対する反射率の比は、 $1:4.3$ であり、コントラスト値は、 $63\%$ と、十分なコントラストが得られた。

検出された欠陥の修正を $\text{FIB}$ を用いて行った後、露出した $\text{CrN}$ バッファ層を塩素と酸素を用いたドライエッチングで吸収体と同一パターン状に除去した。

以上のようにして、本実施例の反射型マスクが得られた。

この反射型マスクに対し、波長 $257\text{ nm}$ の検査光を用いて、パターンの最終検査を行った。吸収体層表面と、多層反射膜表面での検査光に対する反射率の比は、 $1:5$ であり、コントラスト値は $67\%$ と十分なコントラストが得られた。

実施例2-1と同様に、本実施例の反射型マスクを用いてレジスト付半導体基板（シリコンウエハ）にパターンの転写を行った所、本実施例の反射型マスクの精度は、 $70\text{ nm}$ デザインルールの要求精度である $16\text{ nm}$ 以下である事が確認できた。

以上説明した本発明の第2の実施態様をまとめると、以下のようである。

(2-1) 基板上に順次、露光光を反射する多層反射膜、バッファ層及び露光光を吸収する吸収体層を形成した反射型マスクブランクであって、吸収体層がタンタル( $\text{Ta}$ )とホウ素( $\text{B}$ )と窒素( $\text{N}$ )とを含む材料からなり、 $\text{Ta}$ と $\text{B}$ と $\text{N}$ の組成が、 $\text{B}$ が $5\text{ at}\% \sim 25\text{ at}\%$ であり、且つ、 $\text{Ta}$ と $\text{N}$ の組成比( $\text{Ta}:\text{N}$ )を $8:1 \sim 2:7$ の範囲としたことにより、パターン検査波長に対する吸収体層の反射率を十分低くし、パターン検査時のコントラストを向上させることができ、その結果、正確且つ迅速なパターン検査が可能になる。

(2-2) 上記吸収体層がタンタル (Ta) とホウ素 (B) と酸素 (O) とを含む材料からなり、上記 (2-1) と同様、吸収体層の材料を特定の材料で形成することにより、パターン検査において十分なコントラストが得られ、正確且つ迅速なパターン検査が可能になる。

(2-3) 上記 (2-2) における吸収体層を形成する材料に更に窒素 (N) を含むことにより、上記 (2-2) の効果に加えて、吸収体層の膜の平滑性を向上させる効果が得られる。

(2-4) 上記吸収体層を形成する材料の結晶状態がアモルファスであることにより、上記 (2-1) ~ (2-3) の効果に加えて、吸収体層の構造が安定で、検査光に対する反射率が変化しないという効果が得られる。

(2-5) 前記バッファ層がクロム (Cr) を含む材料で形成されていることにより、本発明におけるタンタル系の吸収体層とのエッチング選択比が大きく取れ、他層の検査波長に対する反射率との関係を調整しやすく、さらに多層反射膜へのダメージを殆ど与えずにバッファ層を除去できるという効果が得られる。

(2-6) 本発明の反射型マスクブランクを用いて得られる反射型マスクは、パターン検査において十分なコントラストが得られ、正確且つ迅速なパターン検査が可能になる。

## 請 求 の 範 囲

1. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成された低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層よりも前記基板から離れており、

前記上層が、

タンタル (Ta) とホウ素 (B) と窒素 (N) を含む材料からなり、Bの含有率が5 at %～30 at %であり、且つ、TaとNの組成比 (Ta : N) が8 : 1～2 : 7の範囲であることを特徴とする反射型マスクブランク。

2. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成された低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層よりも前記基板から離れており、

前記上層が、

タンタル (Ta) とホウ素 (B) と窒素 (N) を含み、且つ、結晶状態がアモルファスである材料からなることを特徴とする反射型マスクブランク。

3. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成された低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層よりも前記基板から離れており、

前記上層が、

タンタル (Ta) とホウ素 (B) と酸素 (O) とを含む材料からなることを特

徴とする反射型マスクブランク。

4. 前記上層が、更に窒素 (N) を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の反射型マスクブランク。

5. 前記上層が、ホウ素 (B) を 5 ~ 25 a t % 含むことを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

6. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成された低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層よりも前記基板から離れており、

前記上層が、

T a と、S i 及びG e の少なくとも一方と、窒素及び酸素の少なくとも一方とを含む材料であることを特徴とする反射型マスクブランク。

7. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成された低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層よりも前記基板から離れており、

前記上層が、

T a と窒素と酸素とを含む物質で形成されていることを特徴とする反射型マスクブランク。

8. 前記上層を形成する材料の結晶状態は、アモルファスであることを特徴とする請求項 3 乃至請求項 7 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

9. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成

された低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層よりも前記基板から離れており、

前記上層の低反射率層は、

クロム、マンガン、コバルト、銅、亜鉛、ガリウム、ゲルマニウム、モリブデン、パラジウム、銀、カドミウム、錫、アンチモン、テルル、沃素、ハフニウム、タングステン、チタン、及び金からなる第1のグループから選択された一つの元素の窒化物、酸化物、及び酸化窒化物のいずれかと、

前記窒化物、前記酸化物、及び前記酸化窒化物のいずれかに更に珪素を含むものと、

前記第1のグループから選択された一つの元素を含む合金の窒化物、酸化物、及び酸化窒化物のいずれかと、

前記合金の窒化物、酸化物、及び酸化窒化物のいずれかに更に珪素を含むものと、

珪素の酸窒化物と

からなる第2のグループから選択された少なくとも一つで構成されることを特徴とする反射型マスクブランク。

10. 前記下層の露光光吸収層は、

前記第1のグループから選択された一つの元素と、

窒素及び酸素の少なくとも一方と前記選択された一つの元素とを含む物質と、

前記第1のグループから選択された一つの元素を含む合金と、

窒素及び酸素の少なくとも一方と前記合金とを含む物質と

からなる第3のグループから選択された少なくとも一つで構成されることを特徴とする請求項9に記載の反射型マスクブランク。

11. 前記下層の露光光吸収層が、Taを含む材料であることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

12. 前記下層の露光光吸収層が、更にBを含む材料であることを特徴とする請求項11に記載のマスクブランク。

13. 前記下層と前記上層との間に、前記下層の組成から前記上層の組成へと連続的に組成が変化する中間領域を有することを特徴とする請求項1乃至12



のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

14. 前記反射層と前記吸収体層との間に、前記吸収体層へのパターン形成時に前記反射層を保護するためのバッファ層を備えていることを特徴とする請求項1乃至13のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

15. 前記吸収体層の下層がTaを含む物質で形成され、前記バッファ層が、Cr又はCrを主成分とする物質で形成されていることを特徴とする請求項14に記載の反射型マスクブランク。

16. 前記吸収体層に形成されるパターンの検査に用いられる光の波長に対する前記反射層表面の反射光と、前記吸収体層表面での反射光のコントラストが、40%以上であることを特徴とする請求項1乃至15のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

17. 前記反射層と前記吸収体層との間に、前記吸収体層へのパターン形成時に前記反射層を保護するためのバッファ層を備えており、

前記吸収体層に形成されるパターンの検査に用いられる光の波長に対する前記バッファ層表面の反射光と、前記吸収体層表面での反射光のコントラストが、40%以上であることを特徴とする請求項1乃至16のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

18. 前記吸収体層に形成されるパターンの検査に用いられる光の波長に対する、前記吸収体層表面の反射率が20%以下である請求項1乃至17のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

19. 前記吸収体層表面の表面粗さが、0.5nmRms以下である請求項1乃至18のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

20. 前記吸収体層の上層を形成する物質の、検査光の波長における屈折率nと消衰係数kが、nが1.5～3.5且つkが0.7以下の条件を満たすことを特徴とする請求項1乃至19のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

21. 前記上層である低反射率層の膜厚が、吸収体層表面の検査光の波長に対する反射率と、低反射率層の膜厚との関係に基づいて、検査光波長に対して、吸収体層表面の反射率が極小になるように選択されていることを特徴とする請求

項 1 乃至 20 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

22. 低反射率層の膜厚が、5～30 nmであることを特徴とする請求項 1 乃至 21 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

23. 請求項 1 乃至請求項 22 のいずれかに記載の反射型マスクブランクの  
前記吸収体層がパターン状に形成されたことを特徴とする反射型マスク。

24. 基板と、該基板上に順に形成された、極端紫外線領域を含む短波長域  
の露光光を反射する反射層及び前記露光光を吸収する吸収体層を有してなる反射  
型マスクブランクであって、前記吸収体層が、前記露光光の吸収体で構成された  
露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構  
成する低反射率層を上層とした少なくとも二層構造であり、前記上層は前記下層  
よりも前記基板から離れている前記反射型マスクブランクの製造方法において、  
前記吸収体層の下層の形成と、上層の形成を同一成膜室内で連続的に行うこと  
を特徴とする反射型マスクブランクの製造方法。

25. 前記上層と下層にはそれぞれ金属元素が含まれており、これらの金属  
元素が同一であることを特徴とする請求項 24 に記載の反射型マスクブランクの  
製造方法。

26. 前記吸収体層の上層と下層の形成はスパッタリング法で行い、上層と  
下層の形成において前記金属元素を含む同一のターゲットを用い、成膜に使用す  
るガスを変えることを特徴とする請求項 25 に記載の反射型マスクブランクの製  
造方法。

27. 反射型マスクブランクの製造方法であって、  
基板上に、極端紫外線領域を含む短波長領域の露光光を反射する反射層を形成  
する工程と、

反射層上に、前記露光光を吸収する露光光吸収層を形成する工程と、  
前記露光光吸収層の表面を処理することにより、前記露光光吸収層の表面近傍  
に、マスクパターンの検査に使用する検査光に対する低反射率層を形成する工程  
とを有することを特徴とする反射型マスクブランクの製造方法。

28. 請求項 27 に記載の反射型マスクブランクの製造方法で製造された反  
射型マスクブランクにおける、前記低反射率層及び前記露光光吸収層をパターン

状に形成し、反射型マスクを得る工程を有することを特徴とする反射型マスクの製造方法。

29. 請求項23に記載の反射型マスクを用いて、半導体基板上にパターンを転写することを特徴とする半導体の製造方法。

30. 基板と、該基板上に順次形成された、露光光を反射する多層反射膜及び露光光を吸収する吸収体層を備えた反射型マスクブランクであって、前記吸収体層がタンタル (Ta) とホウ素 (B) と窒素 (N) を含む材料からなり、Bの含有率が5 at %～25 at %であり、且つ、TaとNの組成比 (Ta : N) が8 : 1～2 : 7の範囲であることを特徴とする反射型マスクブランク。

31. 基板と、該基板上に順次形成された、露光光を反射する多層反射膜及び露光光を吸収する吸収体層を備えた反射型マスクブランクであって、前記吸収体層が、タンタル (Ta) とホウ素 (B) と窒素 (N) を含み、かつ、前記吸収体層の結晶状態がアモルファスであることを特徴とする反射型マスクブランク。

32. 基板と、該基板上に順次形成された、露光光を反射する多層反射膜及び露光光を吸収する吸収体層を備えた反射型マスクブランクであって、前記吸収体層がタンタル (Ta) とホウ素 (B) と酸素 (O) とを含む材料からなることを特徴とする反射型マスクブランク。

33. 前記吸収体層を形成する材料は、更に窒素 (N) を含む事を特徴とする請求項32に記載の反射型マスクブランク。

34. 前記吸収体層を形成する材料は、ホウ素 (B) を5～25 at %含むことを特徴とする請求項31乃至33のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

35. 前記吸収体層を形成する材料の結晶状態は、アモルファスであることを特徴とする請求項32乃至請求項34のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

36. 前記吸収体層は、膜厚方向に、吸収体層表面に向かうに従い酸素又は窒素の含有量が次第に増大する組成分布を有していることを特徴とする請求項30乃至請求項35のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

37. 前記多層反射膜と吸収体層との間に、前記吸収体層へのパターン形成時に前記多層反射膜を保護するためのバッファ層を備えていることを特徴とする

請求項 30 乃至 36 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

38. 前記バッファ層がクロム (Cr) を含む材料で形成されていることを特徴とする請求項 37 に記載の反射型マスクブランク。

39. 吸収体層に形成されるパターンの検査に用いられる光の波長に対する前記多層反射膜表面の反射光と、前記吸収体層表面での反射光のコントラストが、40%以上となるように構成されていることを特徴とする請求項 30 乃至 38 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

40. 前記多層反射膜と吸収体層との間に、前記吸収体層へのパターン形成時に前記多層反射膜を保護するためのバッファ層を備えており、

吸収体層に形成されるパターンの検査に用いられる光の波長に対する前記バッファ層表面の反射光と、前記吸収体層表面での反射光のコントラストが、40%以上となるように構成されていることを特徴とする請求項 30 乃至 39 のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

41. 吸収体層に形成されるパターンの検査に用いられる光の波長に対する、前記吸収体層の反射率が 20%以下である請求項 30 乃至 40 に記載の反射型マスクブランク。

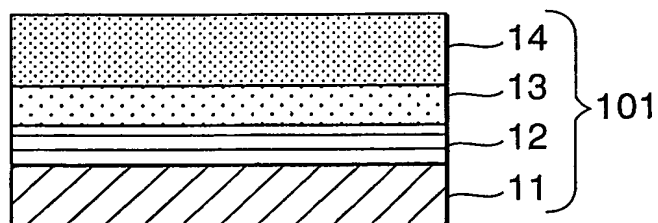
42. 吸収体層表面の表面粗さが、0.5 nmRms 以下である請求項 30 乃至 41 に記載の反射型マスクブランク。

43. 請求項 30 乃至請求項 42 のいずれかに記載の反射型マスクブランクの吸収体層がパターン状に形成されたことを特徴とする反射型マスク。

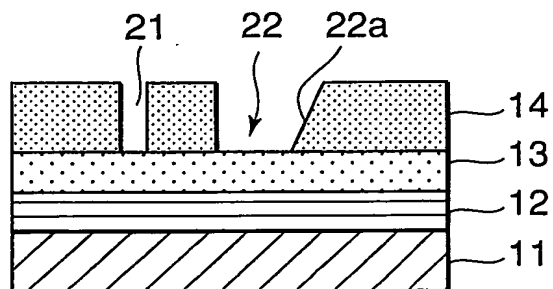
44. 請求項 43 に記載の反射型マスクを用いて、半導体基板上にパターンを転写することを特徴とする半導体の製造方法。

図 1

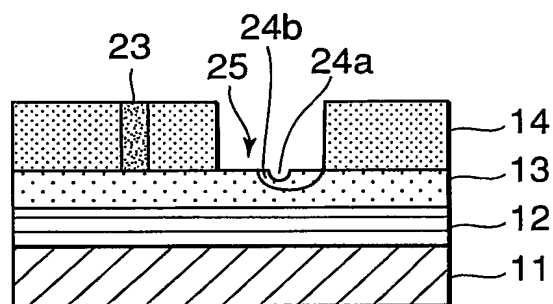
(a)



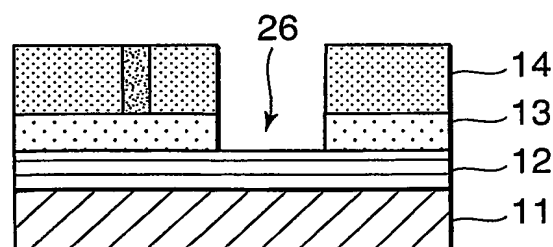
(b)



(c)



(d)



(e)

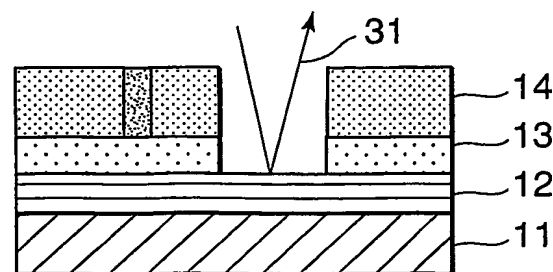


図 2

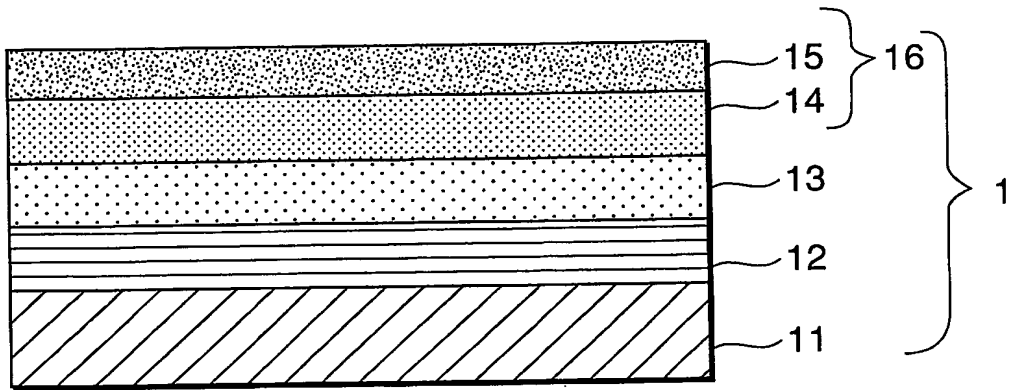


図 3

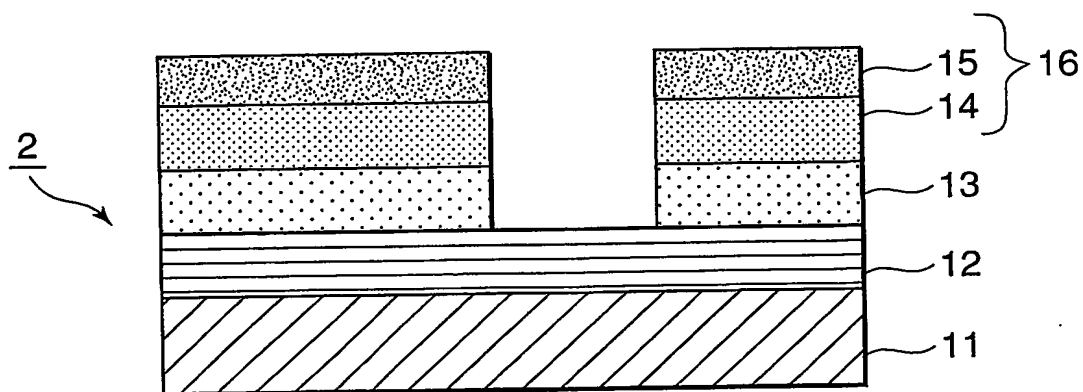


図 4

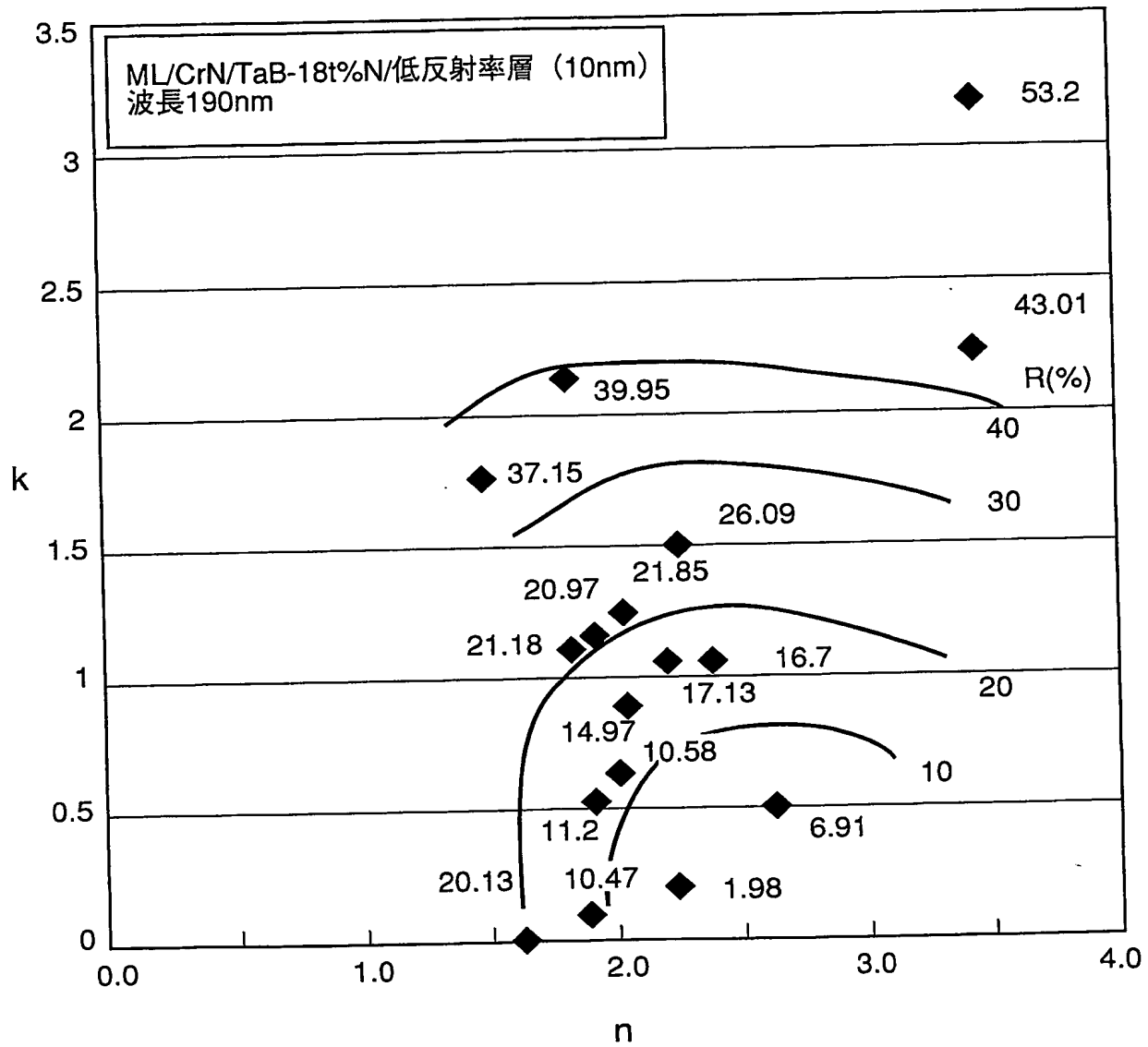




図 5

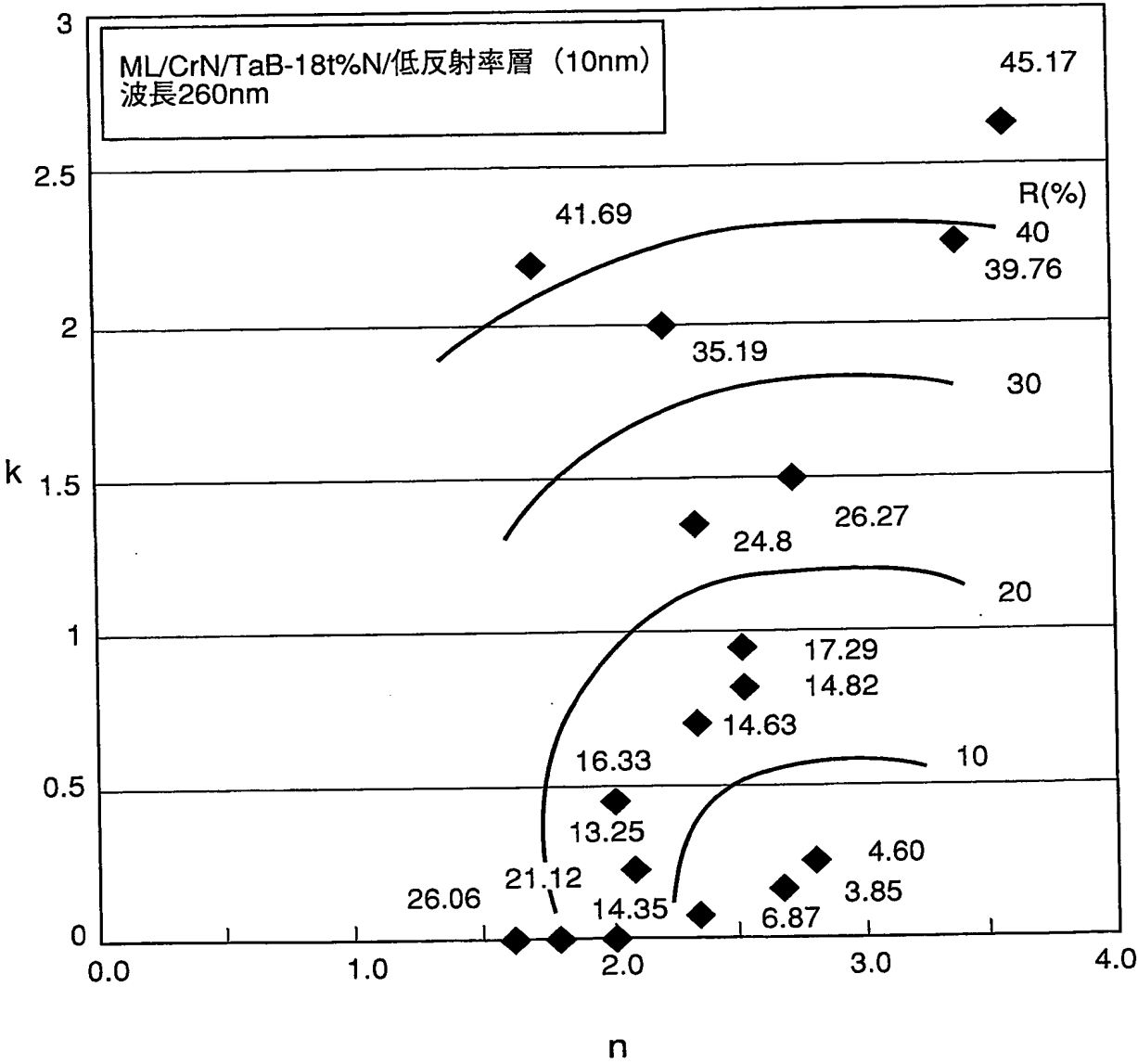


図 6

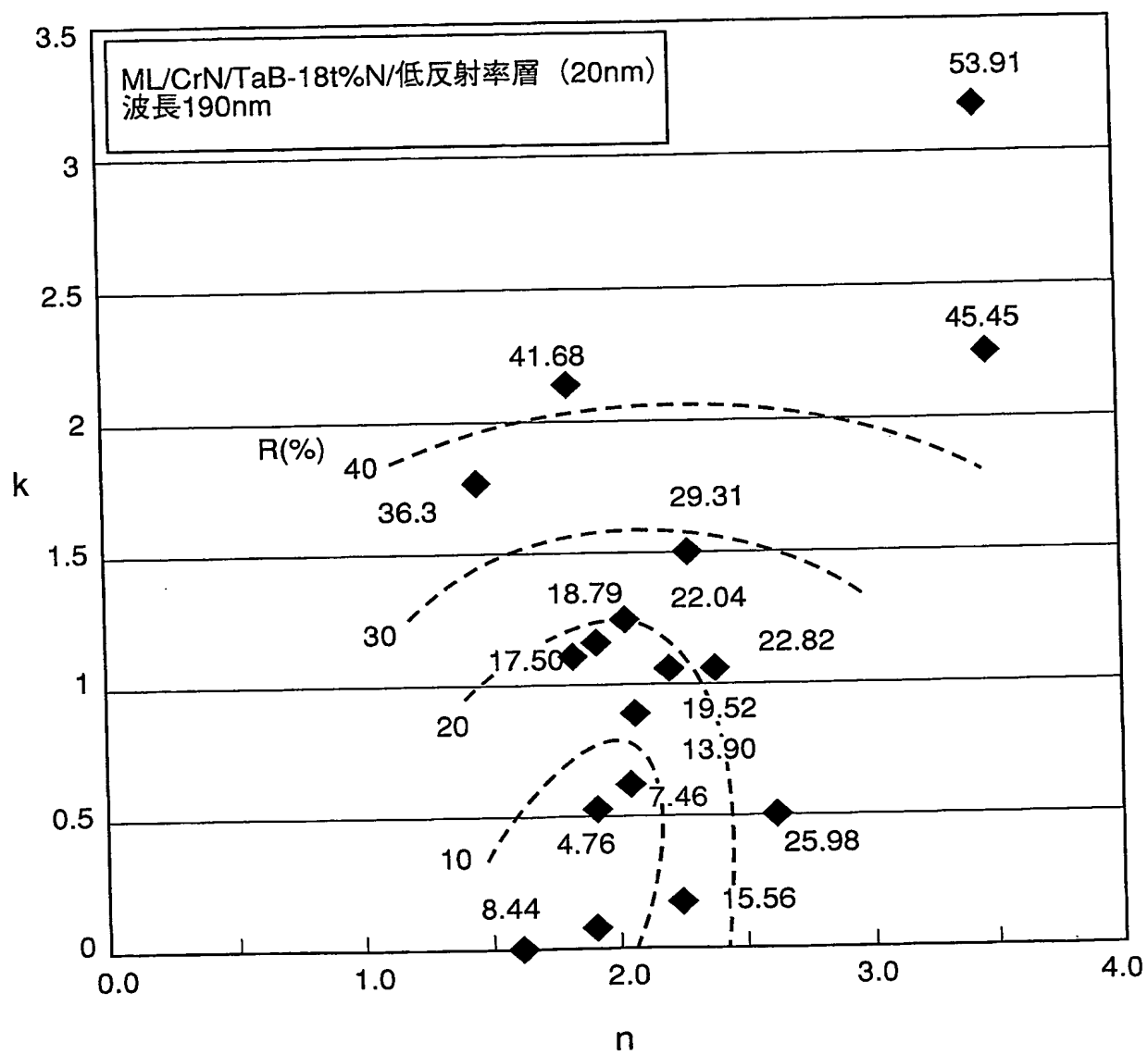


図 7

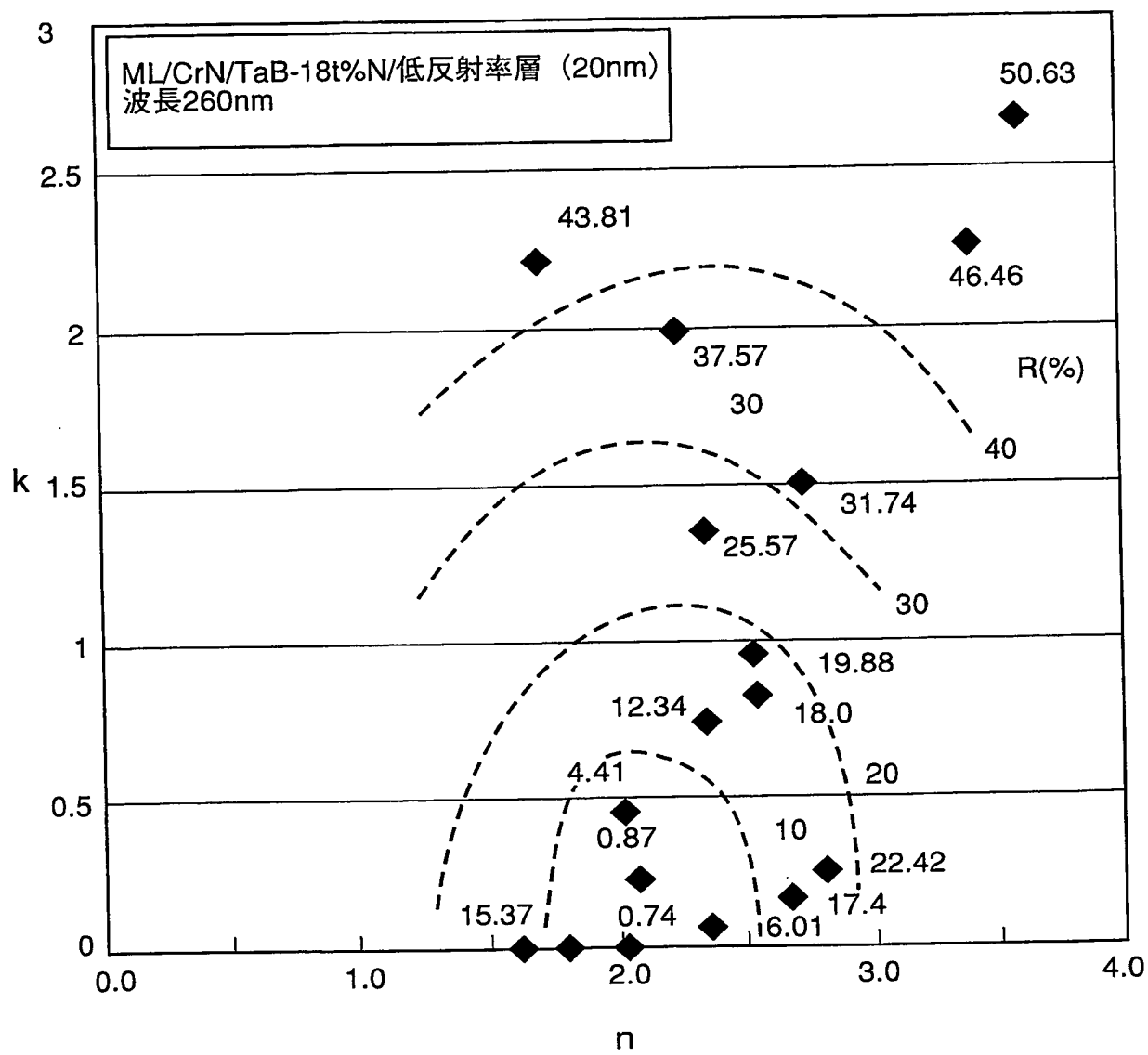
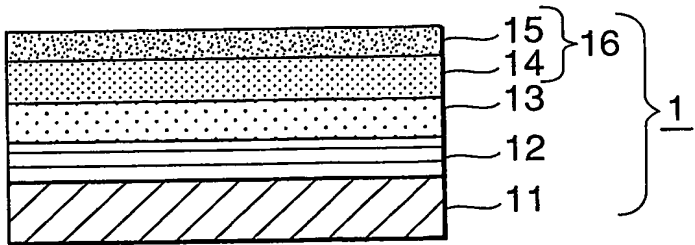
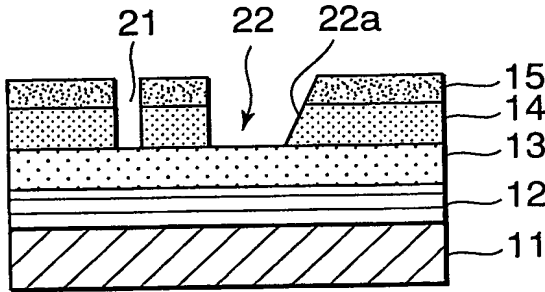


図 8

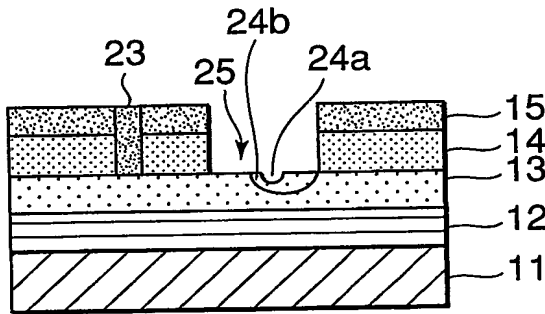
(a)



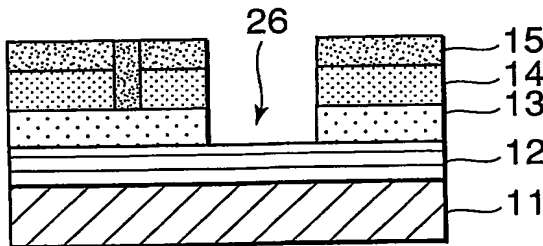
(b)



(c)

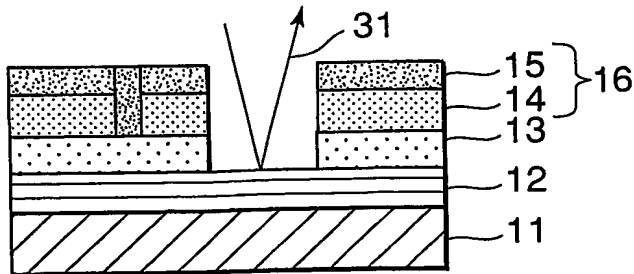


(d)



2

(e)



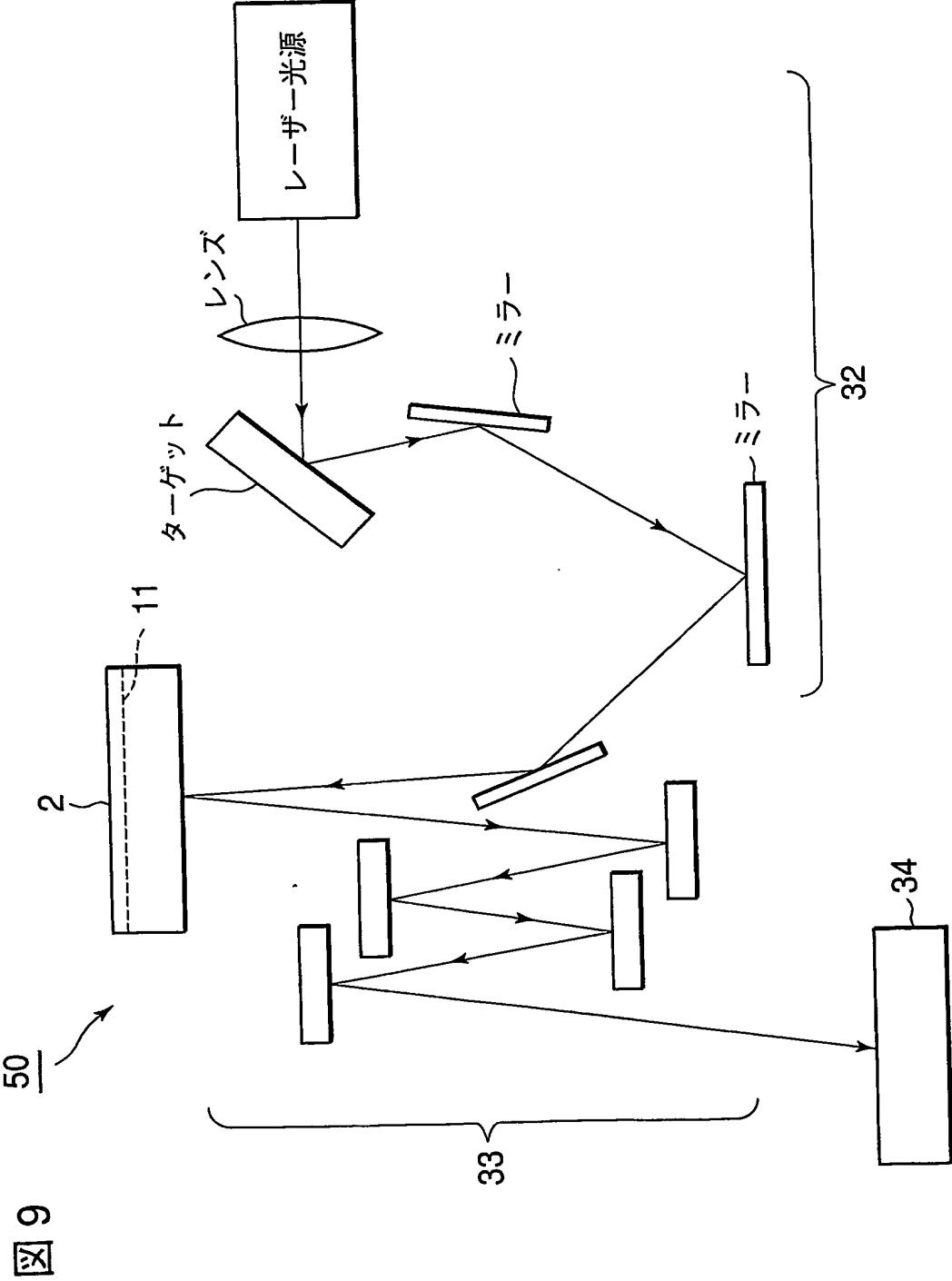


図 10

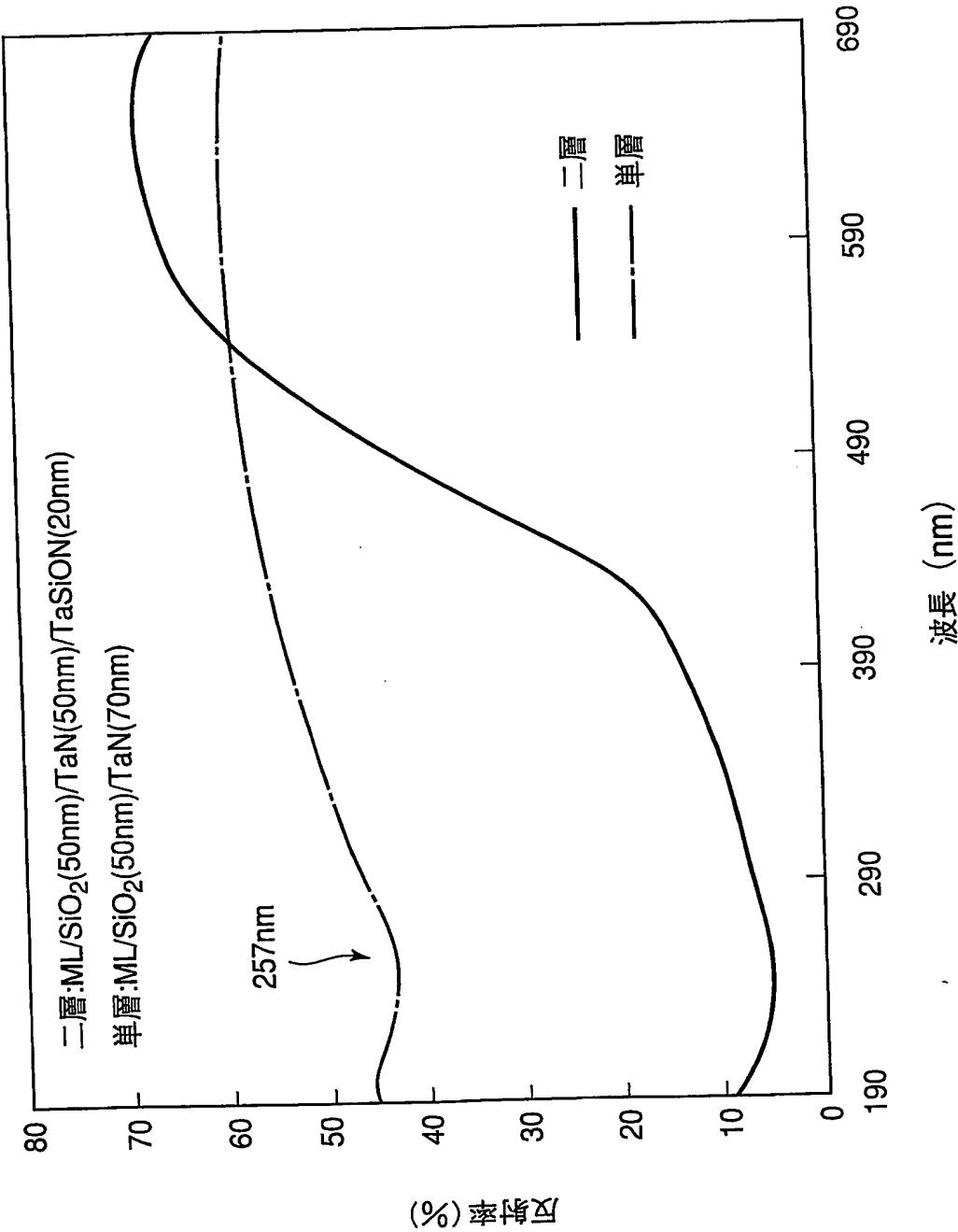


図 11

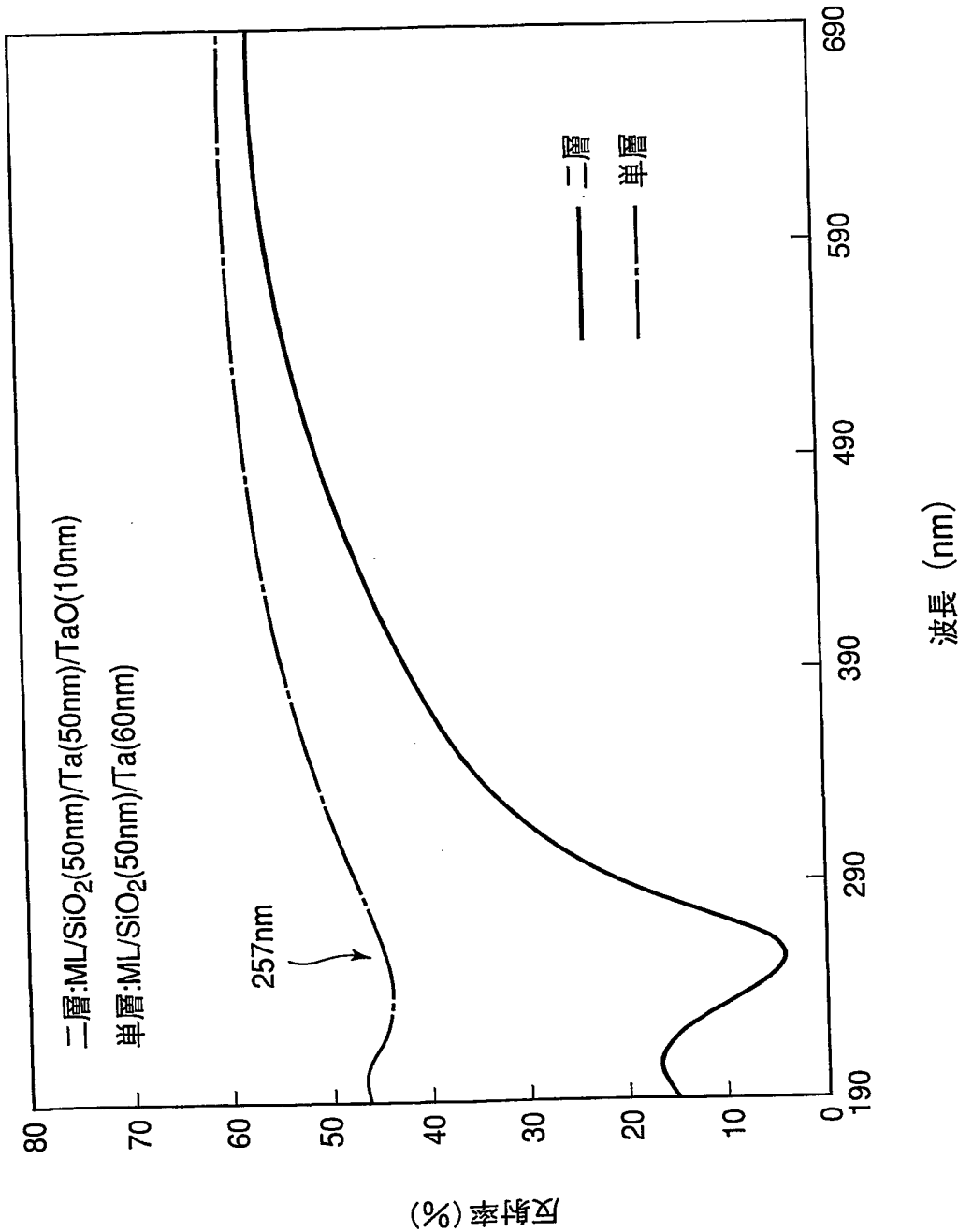


図 12

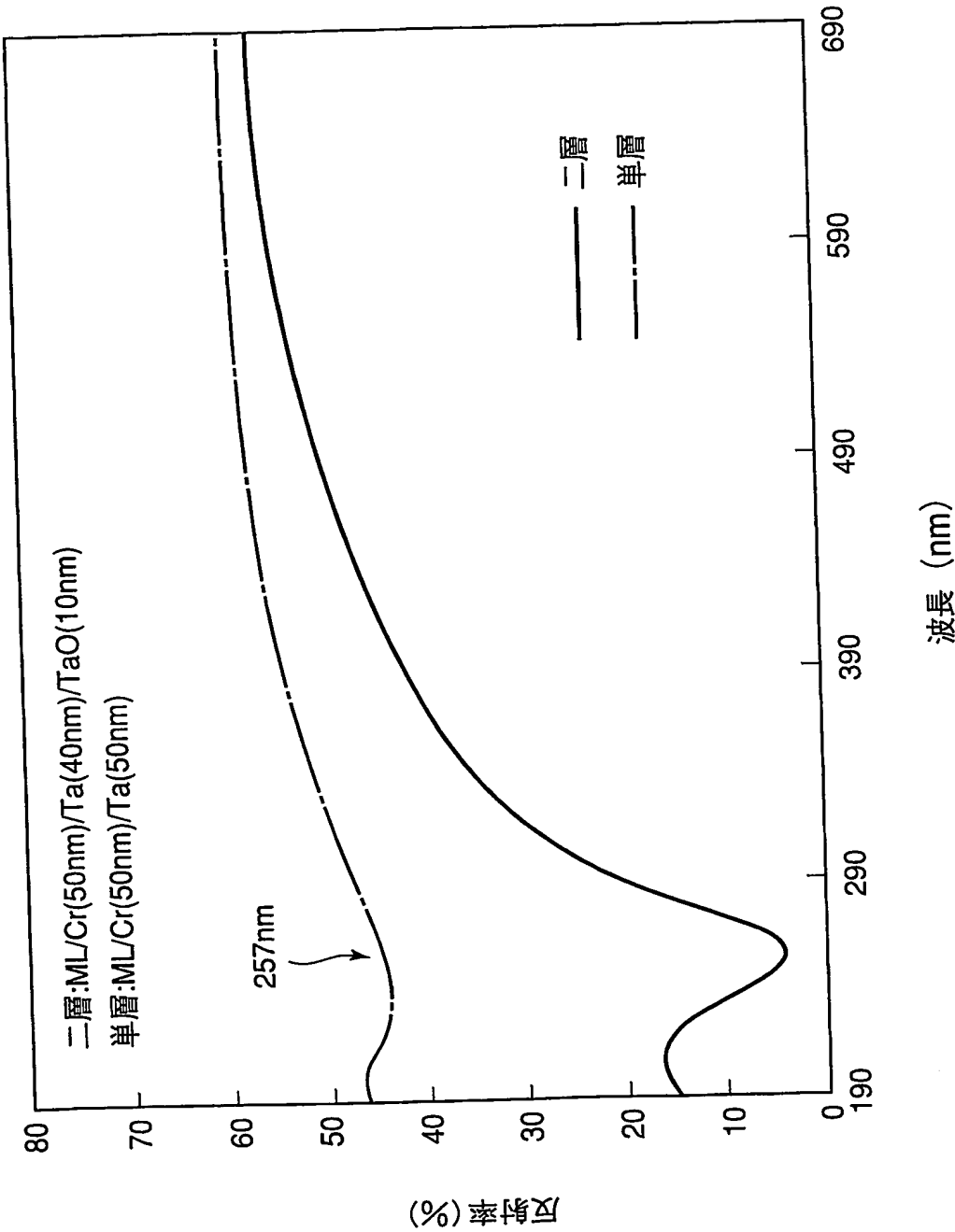




図 13

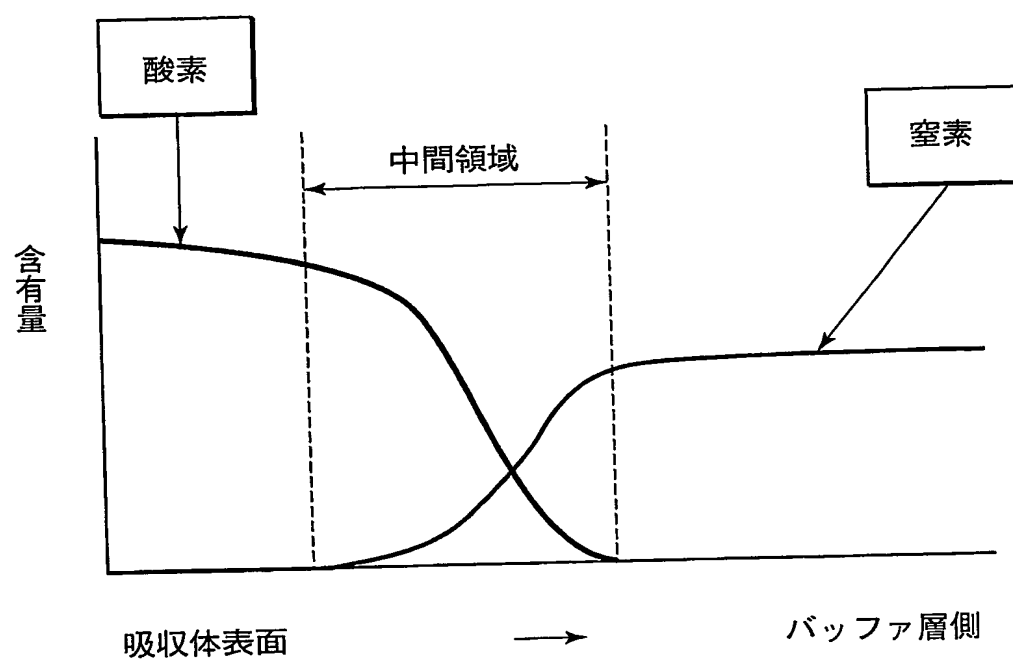


図 14

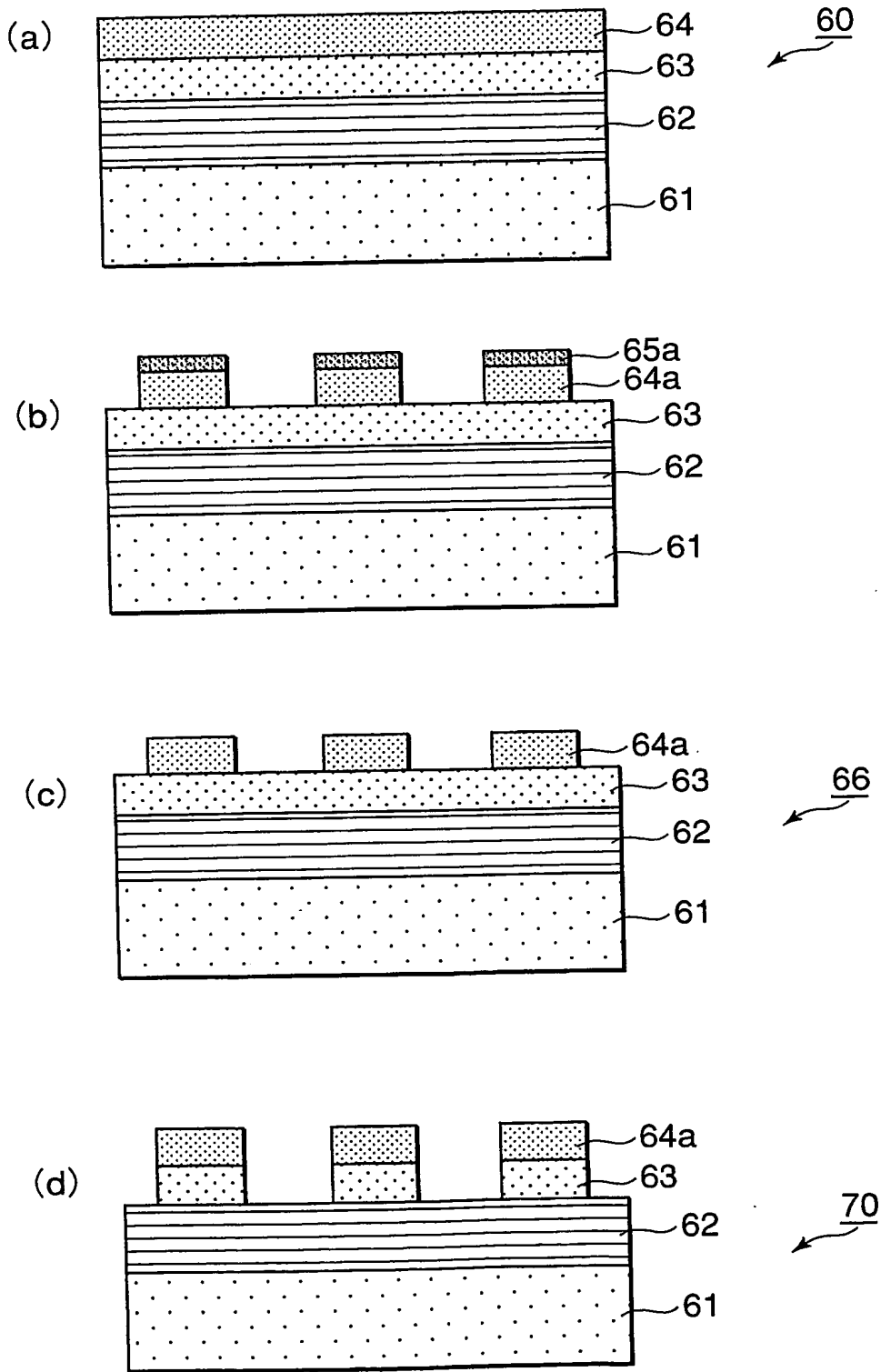


図 15

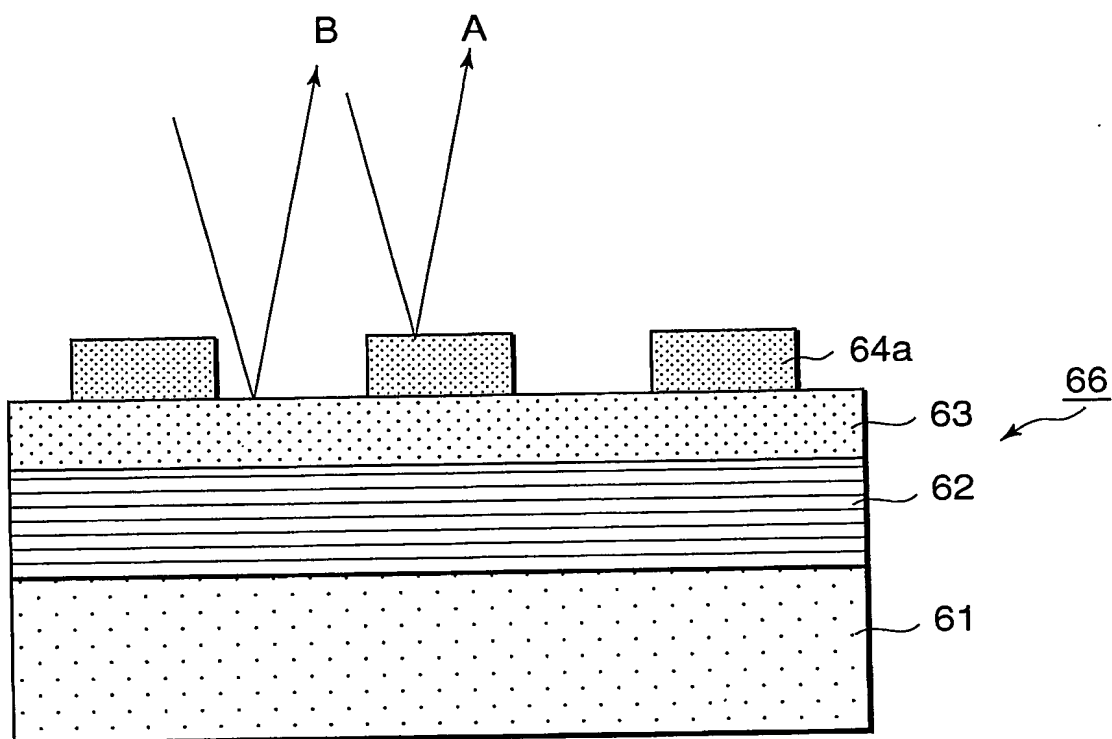
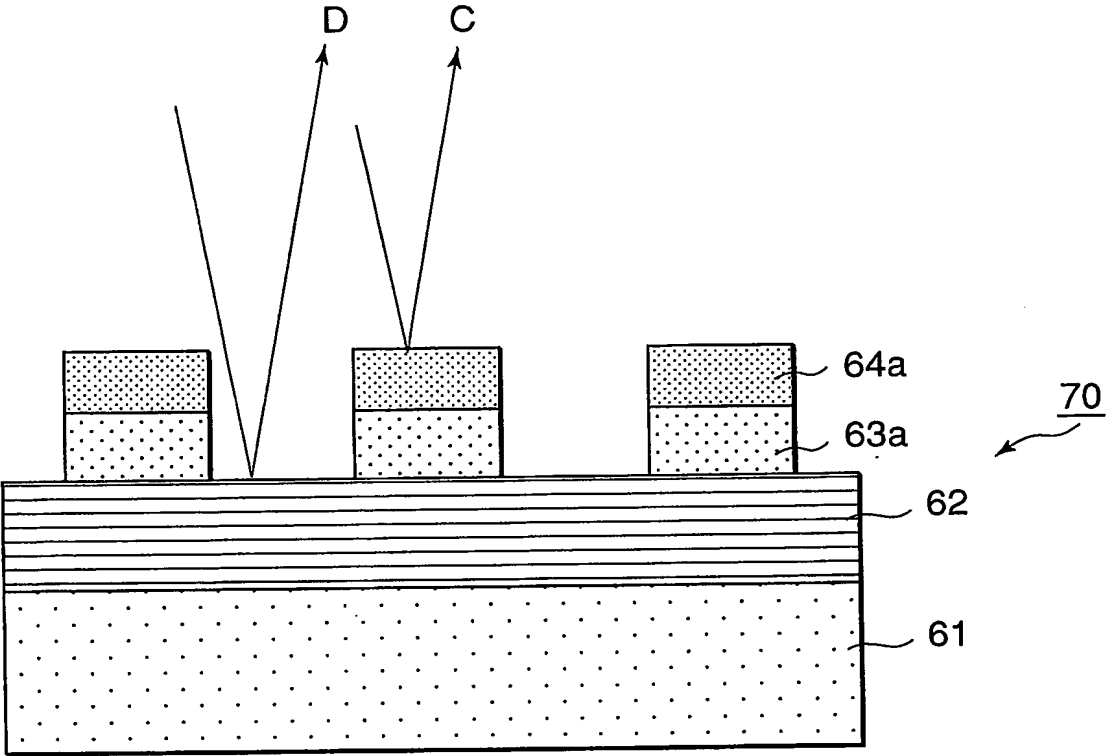
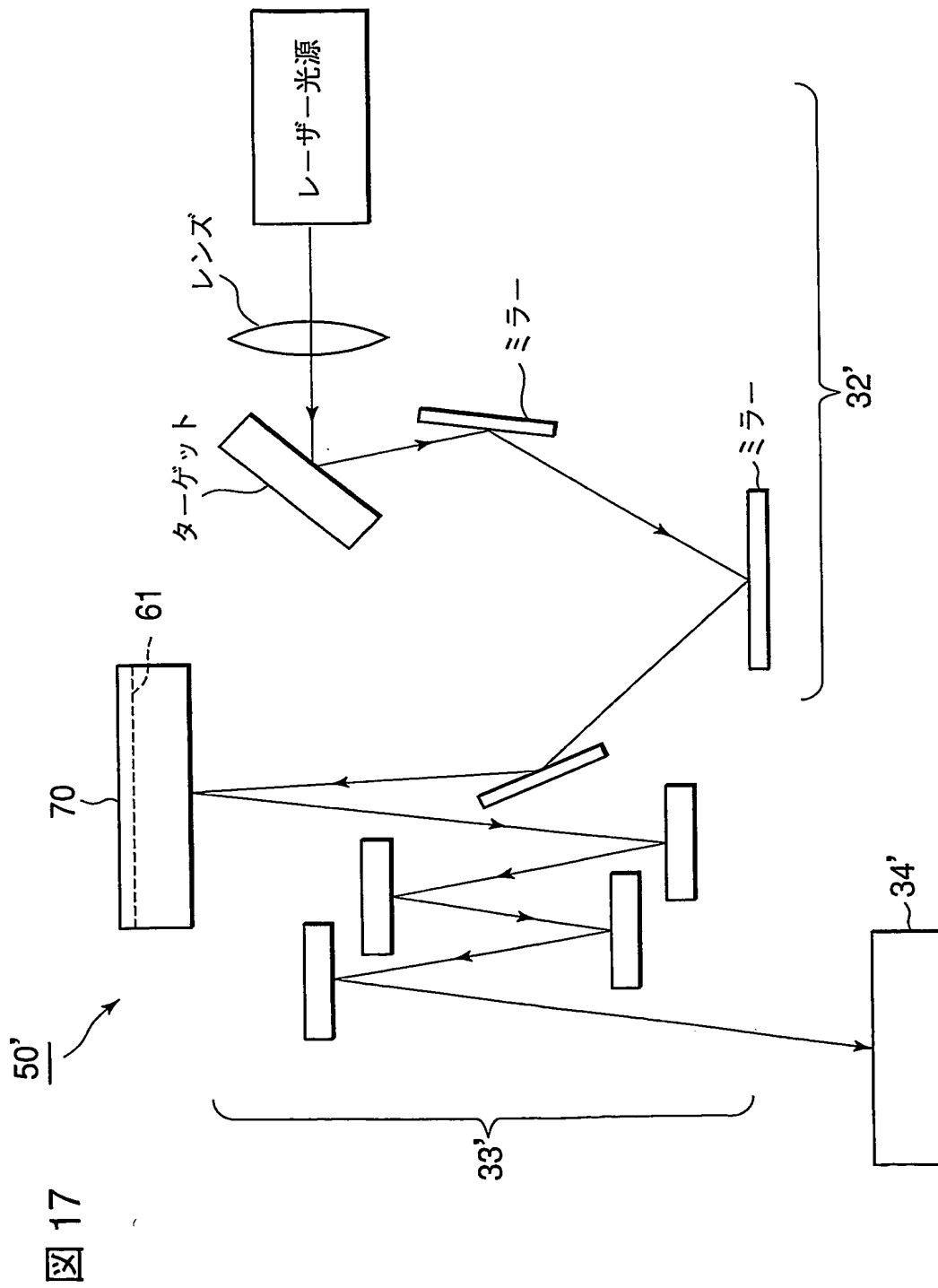


図 16





International application No.  
PCT/JP03/04615

Int.C1<sup>7</sup> H01L21/027, G03F1/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.C1<sup>7</sup> H01L21/027, G03F1/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

### C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X  P,A	JP 2002-246299 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 30 August, 2002 (30.08.02), Abstract; Par. Nos. [0050], [0055], [0069] to [0083]; Figs. 7, 10 (Family: none)	3,4,6,7,9, 10-12,14,16, 18-20,23, 27-29,32,33, 36,37,39, 41-44 1,2,5,8,13, 15,17,21,22, 24-26,30,31, 34,35,38,40

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
15 July, 2003 (15.07.03)

Date of mailing of the international search report	29 July, 2003 (29.07.03)
--	--------------------------

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G03F1/16

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G03F1/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
P, X	JP 2002-246299 A (沖電気工業株式会社) 2002.08.30 【要約】【0050】【0055】【0069】～【0083】 図7、図10 (ファミリーなし)	3, 4, 6, 7, 9, 10-12, 14, 16, 18-20, 23, 27-29, 32, 33, 36, 37, 39, 41-44
P, A		1, 2, 5, 8, 13, 15, 17, 21, 22, 24-26, 30, 31, 34, 35, 38, 40

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.07.03

国際調査報告の発送日

29.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 伊藤 昌哉

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

2M 3011

## C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 2 0 0 1 - 2 3 7 1 7 4 A (沖電気工業株式会社) 2 0 0 1 . 0 8 . 3 1 【 0 0 0 7 】 【 0 0 3 5 】 【 0 0 3 7 】 図 4	6, 9-12, 14, 16, 18-23, 27-29
Y	【 0 0 4 9 】 ~ 【 0 0 6 2 】 図 7 (ファミリーなし)	2, 8, 13, 15, 17, 24-26, 31, 36-44
A		1, 3-5, 7, 30, 32-35
Y	J P 6 - 9 5 3 5 8 A (凸版印刷株式会社) 1 9 9 4 . 0 4 . 0 8 【 要 約 】 【 0 0 0 5 】 (ファミリーなし)	13, 24-26, 36
Y	U S 5 7 5 4 6 1 9 A (NEC Corporation) 1 9 9 8 . 0 5 . 1 9 ABSTRACT & J P 9 - 1 9 0 9 5 8 A & C N 1 1 7 5 7 6 0 A & K R 2 2 9 2 6 2 B	2, 8, 31
Y	J P 7 - 3 3 3 8 2 9 A (株式会社日立製作所) 1 9 9 5 . 1 2 . 2 2 【 要 約 】 【 請 求 項 5 】 (ファミリーなし)	14, 15, 17, 37, 38, 10



## 第Ⅰ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅱ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-29それぞれに共通の事項である、「露光光の吸収体で構成された露光光吸収層を下層とし、マスクパターンの検査に使用する検査光の吸収体で構成された低反射率層を上層とした少なくとも2層構造」の吸収体の構成は、調査の結果、文献JP 2001-237174 A（沖電気工業株式会社）2001.08.31、【0049】-【0062】、図7に開示されている従来から知られている先行技術であることが明らかになった。

したがって、請求の範囲1-8、11-23、29-44、請求の範囲9、10、請求の範囲24-26、請求の範囲27、28について共通の事項はない。また、PCT規則13.2の第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる他の共通事項は存在しないので、それらの相違する発明の間にPCT規則13の意味における技術的な関係を見いだすことはできない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。